



Tielaitos

Kallioleikkaukset



**Tielaitoksen
selvityksiä**

30/1994

Helsinki 1994

Geokeskus

Tielaitoksen selvityksiä
30/1994

Kallioleikkaukset

Tielaitos
Geokeskus

Helsinki 1994

ISSN 0788-3722
ISBN 951-47-9398-6
TIEL 3200240
Painatuskeskus Oy
Helsinki 1994

Julkaisun kustannus ja myynti:
Tielaitos, hallinnon palvelukeskus,
painotuotepalvelut
Telefax (90) 1487 2652

Tielaitos

Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde (90) 148 721

NIEMISARA, Heikki: Kallioleikkaukset. Helsinki 1994, Tielaitos, Geokeskus. Tielaitoksen selvityksiä 30/1994, 72 s. + liitteitä 3 kpl, ISBN 951-47-9398-6, ISSN 0788-3722, TIEL 3200240.

Asiasanat Kallioleikkaukset, Kalliotutkimus, Tiensuunnittelu, Maisema

Tiivistelmä

Hyvin suunniteltu ja toteutettu kallioleikkaus on kestävä ja maisemakuvaan sopiva. Kallioleikkauksen suunnittelussa on oleellista kallion ominaisuuksien huomioiminen ja hyödyntäminen. Kallioleikkaukset suunnitellaan osana tiensuunnittelua. Työhön osallistuvat tiensuunnittelija, geologi (tai geoteknikko) ja maisemasuunnittelija. Suunnittelussa kiinnitetään huomiota maisemallisiin, geologisiin ja taloudellisiin tekijöihin. Kallioleikkauksen suunnittelu pohjautuu kallion kartoitukseen ja laatututkimuksiin sekä maisemasuunnitelmiin.

Kalliolaatu määritetään rakennegeologista kallioluokitusta käyttäen. Kalliolaatu määräytyy kivilaadun ja rakoilun mukaisesti. Kivilaadun luokitusominaisuudet ovat rapautumisaste, osasten järjestäytyneisyys, raekoko ja päämineraalit. Rakoilusta huomioidaan rakotyyppi, rakotiheys ja rakojen laatu.

Kiinteät kalliolaadut, jotka ovat harva- tai vähärakoisia, ovat louhinnan kannalta parhaimpia. Pinnaltaan epätasainen louhintajälki syntyy usein, kun rakoilu- tai liuskeisuussuuntaa leikataan 20° ... 50° :een kulmassa. Kiinteä kalliolaatu, varsinkin kuutio- ja laattarakoilun mukainen, voidaan louhia kallion rakosuuntien mukaisesti.

Rikkonaisilla ja löyhillä kalliolaaduilla on pyrittävä löytämään sopivimmat keinot kallion murenemisen estämiseen ja irronneiden kappaleiden ohjaamiseen. Näitä ovat leikkauksen louhiminen loivaksi tai ulommas, sisä- ja ulkoluiskien muotoilu, rusnaus, verkotus, kori, pultitus, ruiskubetonointi, pensasistutukset sekä kaiteet, törmäyssuojat ja muut rakennetut esteet.

Kallioleikkauksen sijainti määräytyy yleensä tielinjauksen mukaiseksi, mutta vastaavasti kallioleikkaus voi määrätä tielinjauksen kulun, jos halutaan hyödyntää alueen maisemallisia arvoja tai kallion ominaisuuksia (rakoilua).

Kallioleikkauksen profiili valitaan maisemallisten tekijöiden ja kalliolaadun perusteella. Tavanomaisen 7:1-leikkauksen sijasta voidaan valita porrastettu, loiva, taittuva tai laajennettu kallioleikkaus. Lyhyet ja matalat leikkaukset voidaan usein louhia kokonaan pois ja peittää maakerroksella.

Kallioleikkausta tehdessä on kiinnitettävä huomiota kalliolaadulle sopivaan louhintamenetelmään, poraustiheyteen ja panostusmäärään. Voimakkaan louhinnan seurauksena voi ehjäksi kallio jäädä rikkonaiseksi ja epätasaiseksi.

Mikäli kallio on kiinteää ja rakoillut tielinjan suuntaisesti, voidaan louhinnassa käyttää kyseistä rako- tai liuskeisuustasoa. Luonnollista rakoilua noudattava kalliopinta on louhittua pintaa kestävämpi ja usein myös maisemaan sopivampi.

ALKUSANAT

Teiden varsilla olevien kallioleikkauksien seinämien rikkonaisuuteen on alettu kiinnittää entistä enemmän huomiota, sillä leikkauksista ajoittain putoavat kivet ja lohkat aiheuttavat ylimääräisiä kunnossapitokustannuksia sekä tielläliikkuville onnettomuusriskejä. Kallioleikkauksia on alettu louhia myös normaalien tiekallioleikkauksien lisäksi tievarsille erikoisiksi taideteoksiksi ja maisemamonumenteiksi.

Viime aikoihin saakka tiekallioleikkauksien suunnittelussa on otettu huomioon hyvin vähän kallion geologisia ominaisuuksia. Vaativien kallioleikkauksien suunnittelussa tulisi kuitenkin käyttää hyväksi louhintaan, leikkauksien pysyvyyteen ja ulkonäköön vaikuttavia geologisia tekijöitä, sillä esimerkiksi ennakkoon tuntemattomat rikkonaiset ja rapautuneet kalliot tai kallion osat aiheuttavat helposti ongelmia louhinnassa ja muutoksia alkuperäisiin suunnitelmiin. Ottamalla huomioon kallion geologiset ominaisuudet, saadaan rakennettava kohde vastaamaan paremmin rakennussuunnitelmaa. Hyvin suunniteltu ja toteutettu kallioleikkaus on tieympäristön maisemakuvaan hyvin sopiva ja kallioseinämät pitkälläkin ajanjaksolla pysyviä.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on esittää kallioleikkauksien suunnittelijalle, rakentajalle ja tutkijalle keskeiset louhittavuuteen, seinämien pysyvyyteen ja ulkomuotoon vaikuttavat kallio-ominaisuudet.

Tutkimuksen on tehnyt Tielaitoksen geokeskuksen tilaamana Helsingin teknillisen korkeakoulun materiaali- ja kalliotekniikan laitoksella tekn.yo. *Heikki Niemisara*. Tilaajan puolelta tutkimuksen vastuuhenkilönä on ollut geologi *Kari Lappalainen* ja seurantaryhmässä on lisäksi ollut professori *Heikki Niini* Helsingin teknillisen korkeakoulun materiaali- ja kalliotekniikan laitokselta ja Tielaitoksesta insinööri *Pauli Pouttu*, arkkitehti *Ulla Priha* ja geologi *Martti Eerola*.

Helsinki 12.8.1994

Tielaitos

Geokeskus

 Sisältö

1 Johdanto	9
1.1 Tausta	9
1.2 Selvityksen tarkoitus	9
2 Kallion rakennettavuus	10
2.1 Kivilajit ja tektoniikka	10
2.1.1 Kivilajit	10
2.1.2 Tektoniikka	11
2.1.3 Tasojen mittaaminen	13
2.1.4 Rapautuminen	14
2.2 Rakennusgeologinen kallioluokitus	15
2.2.1 Kivilaatu	15
2.2.2 Kallion rakoilu	18
2.2.3 Kalliolaatu	22
2.3 Kallioleikkauksen kalliomekaniikka	26
2.3.1 Kallion sisäinen jännitystila	26
2.3.2 Yksittäisen kappaleen pysyvyys	27
2.3.3 Kallioluiskun murtuminen	28
3 Kallioleikkauksen suunnittelu	31
3.1 Kallioleikkaukset tiensuunnittelussa	31
3.2 Kallion laatututkimukset	32
3.2.1 Tutkittavat ominaisuudet	32
3.2.2 Tutkimusten ajoitus ja menetelmät	34
3.2.3 Tutkimustulosten esittäminen	36
3.3 Geologisten piirteiden vaikutukset suunnitelmaan	37
3.3.1 Kiinteä kallio	37
3.3.2 Rikkonainen ja löyhä kallio	38
3.4 Louhintamenetelmät	39
3.4.1 Tavalliset menetelmät	39
3.4.2 Erikoismenetelmät	40
3.4.3 Leikkauspinnan pysyvyys ja tasaisuus	41
3.4.4 Tunneli	41
3.5 Kallioleikkauksen geometria	42
3.5.1 Poikkileikkauksen geometria	42
3.5.2 Pituussuuntainen geometria	44
3.5.3 Turvallisuus	44
3.6 Kallioleikkauksen sovittaminen maisemaan	46
3.6.1 Kallioleikkaus maisemassa	46
3.6.2 Kiven luontaisen irtoamistavan hyödyntäminen	47
3.6.3 Erilaisia poikkileikkauksia	48

4 Kallioleikkauksen tekeminen	53
4.1 Louhinta	53
4.1.1 Louhinnan suoritus	53
4.1.2 Laatuvaatimukset	54
4.2 Jälkihoito	55
4.2.1 Rusnaaminen	55
4.2.2 Kallion lujittaminen	55
4.2.3 Irtoavien lohcareiden ohjaaminen	57
4.3 Vanhan kallioleikkauksen kunnostaminen	59
4.3.1 Kunnostaminen	59
4.3.2 Uudelleenlouhinta	59
5 Esimerkkejä kallioleikkauksista	60
5.1 Kt 51, Länsiväylä/Kehä I, Espoo	60
5.2 Kt 51, Kasaberget, Siuntio	61
5.3 Vt 1, Hyrsylä, Nummi-Pusula	64
5.4 Vt 6, Munkkala, Porvoon mlk	66
5.5 Vt 3, Janakkala	68
Kirjallisuus	70
Liitteet	73
Liite 1 Kallioalueen laatu	
Liite 2 Kallion rakenne	
2.1 Kasabergetin kallioleikkaus	
2.2 Koskenkylän kallioleikkaus	
Liite 3 Kohteiden sijainti	

1 Johdanto

1.1 Tausta

Rikkonaisten kallioleikkausten kunnossapito ja uudelleen rakentaminen aiheuttaa Tielaitokselle huomattavia kustannuksia, arviolta 150.000...250.000 markkaa vuodessa. Kallioleikkauksista tippuvat kivet ja lohkat voivat aiheuttaa vaaraa liikenteelle ja johtaa onnettomuuksiin.

Kallioleikkausten suunnittelusta ja toteutuksesta olevia ohjeita on katsottu tarpeelliseksi tarkentaa. Huomiota halutaan kiinnittää kallioleikkauksien pysyvyyteen ja ympäristöön sopivuuteen.

1.2 Selvityksen tarkoitus

Selvityksellä pyritään kiinnittämään suunnittelijoiden ja rakentajien huomiota kallioleikkausten toteuttamiseen kallion ominaisuudet huomioiden. Samalla halutaan painottaa eri alojen asiantuntijoiden, mm. geologien ja maisemasuunnittelijoiden, merkitystä kallioleikkauksen onnistumisessa.

Selvityksessä esitellään kallioleikkauksen suunnitteluun ja kestävyyteen vaikuttavia geologisia tekijöitä. Selvitys esittelee suunnittelijalle taustatiedot kallioleikkausten suunnittelemiseksi siten, että voitaisiin ottaa huomioon kallio-perän ominaisuudet (esimerkiksi rakoilusuunnat, lohkeavuus ja rikkonaisuus).

Selvityksellä halutaan kiinnittää huomiota kallioleikkausten soveltumiseen ympäristöön ja maisematekijöiden merkitykseen kallioleikkauksien muotoilussa. Selvityksessä käsitellään lisäksi eri louhintamenetelmien vaikutusta lopputuloksen onnistumiseen.

2 Kallion rakennettavuus

Geologisista tekijöistä kalliorakennuskohteen suunnittelussa tulisi ottaa huomioon kivilaatu, kalliolaatu, kalliopinnan topografia ja syvyysasema, kallion jännitystila sekä kalliossa ja sen päällä oleva vesi. Kalliolaatu koostuu kivilaadusta kivilajien suuntauksineen ja kontakteineen sekä rakoilusta mukaanlukien rakojen karheus. Nämä tekijät vaikuttavat kallion rakennettavuuteen.

2.1 Kivilajit ja tektoniikka

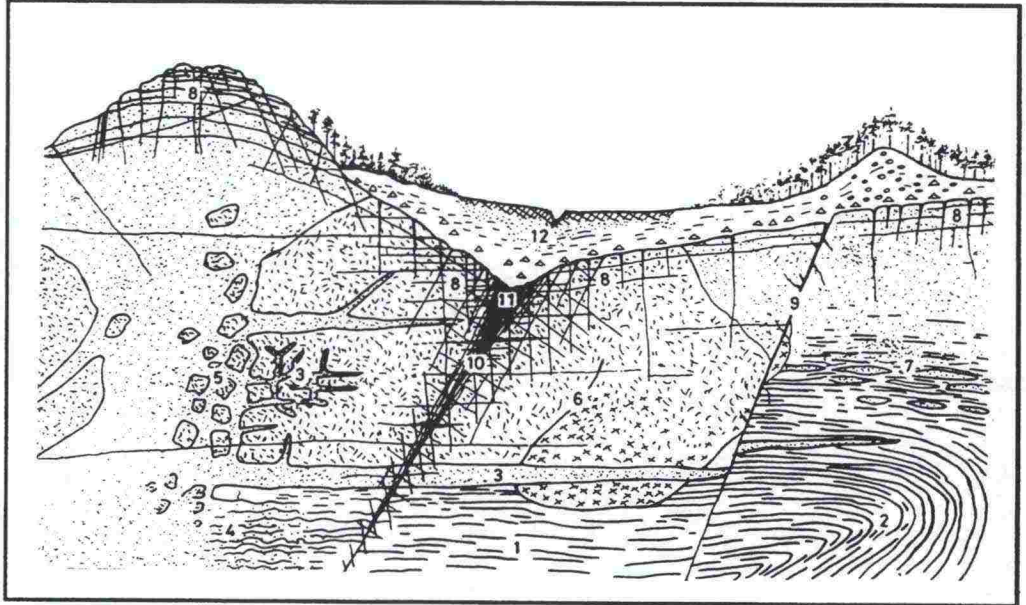
Kallio on materiaalina yleensä hyvin epähomogeenista, rakenteellisesti epäjatkovaa ja lujuudeltaan vaihtelevaa. Kallion rakennettavuuden kannalta on tärkeää selvittää kallion rakennus- ja louhintatekniset ominaisuudet. Näitä selittävät muun muassa mineraalikoostumus, kivilaji, kivilajien yhteenliittyminen, suuntaus, rikkonaisuus, heikkousvyöhykkeet, rapautuneisuus ja kalliopinnan topografia.

2.1.1 Kivilajit

Kivilajit jaetaan magma-, sedimentti- ja metamorfisiin kivilajeihin. Magma-kivilajien syväkivet ovat syntyneet kivilajista maankuoressa hitaasti kiteytymällä. Niiden mineraalirakeet ovat kohtalaisen suuria ja verrattain tasamittaisia. Magmakivilajien pintakivilajit (vulkaniitit) ovat syntyneet nopeasti jäähtyvistä kivilajista tulivuorenpurkauksissa. Niiden kivilajit ovat tiiviitä ja hienorakeisia. Sedimenttikivet syntyvät muista kivilajeista irronneiden mineraalirakeiden kerrostuessa maalajeiksi ja iskostuessa kiveksi tai kemiallisessa sedimentaatiossa. Metamorfiset (muuntuneet) kivilajit syntyvät edellä mainittujen kivilajien kiteytyessä uudelleen korkean paineen ja/tai lämpötilan vaikutuksen alaisena. Metamorfoosissa mineraalit voivat muuttaa koostumusta, kokoa ja muotoa.

2.1.2 Tektoniikka

Kivilajin primääriset piirteet ovat voineet muuttua maankuoren liikuntojen seurauksena. Kallion jännitystila aiheuttaa kalliossa rakoilua, siirroksia ja poimutusta. Kuvassa 1 on esitetty kalliooperän rakenteellisia piirteitä.



Kuva 1. Kalliooperän tektonisia rakenteita kaavamaisesti esitettynä [1]. 1. Liuskeisuus, 2. Poimu, 3. Juonia, 4. Suonia, 5. Breksia, 6. Terävä kontakti, 7. Kontaktivyöhyke, 8. Rakoilua, 9. Siirros, 10. Ruhje, 11. Savivyöhyke kalliossa, 12. Maalajeja.

Kerroksellisuus

Kerroksellisuudella tarkoitetaan usean järjestyneisyydeltään tai koostumukseltaan toisistaan eroavan kerroksen vuorottelua. Kerroksellisuutta voi esiintyä eri kivilajityypeillä ja eri mittakaavoissa [2].

Poimu

Poimutus tarkoittaa alkuperäisten kivilajikerrosten tai kallioon myöhemmin kehittyneen liuskeisuuden vääntymistä poimulle. Poimuttuminen tapahtuu kohtisuoraan vallitsevaa puristusta vastaan. Yksittäisen poimun harjan (tai pohjan) suuntaa nimitetään poimuakseliksi [2].

Liuskeisuus ja viivaus

Liuskeisuus syntyy puristuksen ja poimutuksen yhteydessä, kun kivilajin mineraalirakeet suuntautuvat. Levymäiset mineraalit muodostavat kiveen tasosuuntauksen ja sälöinä esiintyvät mineraalit viivasuuntauksen. Suuntautuneissa mineraaleissa ja kivilajeissa lujuus on riippuvainen suuntauksesta, joten kivi voi lohjeta helposti tällaista liuskeisuussuuntaa myöten [3].

Kontakti, juoni ja breksia

Kontakti on kahden kivilajin kosketuspinta. Kivilajien kontakti voi olla vähittäinen, vaiheittainen tai terävä. Kontakti muodostaa monin paikoin kallion heikkouskohdan, jossa kivilajit ovat rikkoutuneita tai rapautuneita. Kalliossa voi olla useita erilaatuisia ja eri tavoin toisiaan leikkaavia kontakteja.

Juonet ovat muodostuneet, kun nuorempaa, sulaa kiviainesta on tunkeutunut vanhemman kivilajin rakoihin.

Breksia on kivilajimurskaleista muodostunut kivilaji.

Rakoilu

Kallion rakoilu yhdessä kivilaadun kanssa määrittää kalliolaadun. Rakoilua tarkastellaan lähemmin rakennusgeologisen kallioluokituksen yhteydessä (kohta 2.2.2).

Lohkeavuus

Lohkeavuudeksi nimitetään kiven taipumusta lohjeta tiettyyn suuntaan.

Siirrokset ja heikkousvyöhykkeet

Osa kallion leikkausraoista on kehittynyt siirroksiksi, joita pitkin kalliolohkot ovat siirtyneet toisiinsa nähden. Siirroksia kuvattaessa ilmoitetaan siirrostason kulku ja kaade sekä tapahtuneen siirtymän suunta ja pituus.

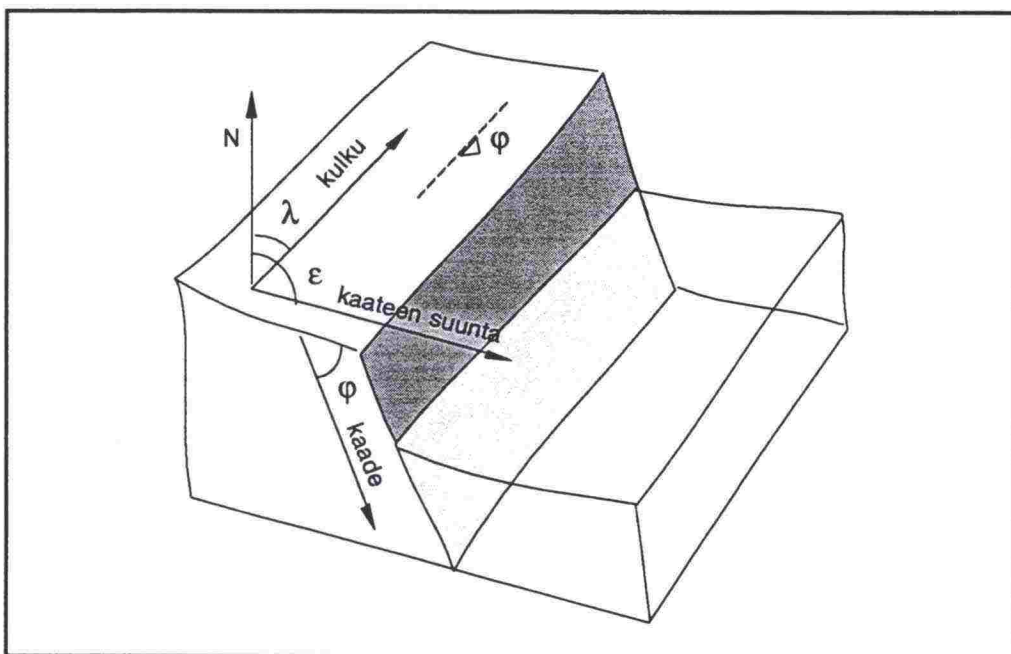
Siirrosten yhteydessä kallio on usein murtunut siirroksen molemmilta puolin. Jos murtuminen on pirstonut kalliota laajasti, kutsutaan vyöhykettä murros- tai ruhjevyöhykkeeksi. Heikkousvyöhykkeen keskiosa on usein särkynyt irtaimiksi murskeen kaltaiseksi ainekseksi tai se on hiertynyt plastiseksi kalliosaveksi. Ruhjevyöhykkeeseen saattaa liittyä voimakasta rapautumista.

Siirrokset ja ruhjevyöhykkeet ovat miltei poikkeuksetta ongelmallisia kallion rakennettavuuden, porattavuuden ja räjäytettävyyden kannalta. Poranterät ja tangot tarttuvat ruhjevyöhykkeeseen, reiät taipuvat ja räjähdysenergia vaimenee ruhjeessa. Irtonaisten lohkojen pysyvyys saattaa olla heikko. Murtunut tai ruhjoutunut kallio rapautuu helpommin kuin ehjä kallio, jolloin kallion pysyvyys heikkenee. Kallion pinnassa olevat heikkousvyöhykkeet ovat muuta kallioperää heikompina useimmiten kuluneet ehjää kalliopintaa alemmaksi ja ovat yleensä irtomaalajien peittämiä painanteita ja laaksoja.

2.1.3 Tasojen mittaaminen

Tasohavaintoja tehdään kalliossa havaittavista, erilaisissa geologisissa prosesseissa syntyneistä, tasomaisista rakenteista. Kallioleikkauksiin liittyviä tasohavaintoja ovat muun muassa rakoilu, liuskeisuus, kerroksellisuus, siirros ja kontakti. Tasohavaintoja tehtäessä määritellään tason, kuten rakopinnan, kulku ja kaade. Mittaaminen tehdään geologikompassilla, jolla voidaan ilman suunnan lisäksi mitata myös tason kaltevuuskulma vaakatasoon nähden.

Kulku on tason ja vaakatason välisen leikkausviivan suunta pohjoisesta myötöpäivään mitattuna (kuvassa 2 kulma λ). Kaateen suuruus tarkoittaa tason kaltevuutta eli kulmaa, jonka tämä taso muodostaa vaakatason kanssa (kuvassa 2 kulma φ) [4]. Kaateen suunta on kohtisuorassa kulun suuntaa vastaan ja se suunta, johon taso viettää (kuvassa 2 kulma ϵ).



Kuva 2. Rakopinnan tasohavainnon käsitteet ja niiden merkitseminen. Kulmat λ , ϵ ja φ ilmoitetaan asteina tai goneina.

2.1.4 Rapautuminen

Rapautuminen on ilmiö, jossa kiinteä ja terve kiviaines muuttuu hitaasti löyhäksi ja irtonaiseksi. Rapautumisilmiöt jaetaan mekaanisiin ja kemiallisiin, vaikka rapautuminen yleensä tapahtuukin näiden yhteisvaikutuksesta. Suomessa kemiallinen rapautuminen kalliopaljastumien mineraaleissa ja kivilajeissa on vähäistä. Syinä ovat lähinnä ilmastomme alhainen lämpötila, kestävät kivilajit ja pohjavesien laatu. Suomessa on tavattu paikoin kallion peiteosan rapautumaa. Ne ovat vanhoja muodostumia, joita jääkausi ei ole liikuttanut paikaltaan.

Mekaaninen rapautuminen tarkoittaa mineraalien irtoamista toisistaan tai mineraalikiteen hajoamista. Irtoamiseen vaikuttavat mineraalien raekoko, yhteenliittymistapa ja vaihteleva lämpölaajeneminen.

Mineraalin mekaaninen rapautuminen johtuu lähinnä eri mineraalien erilaisesta lämpölaajenemisesta tai veden jäätymisestä kallion rakoihin. Rakoihin jäätyvän veden aiheuttama rapautuminen on yleistä kallioleikkauksissa. Oleellista on veden toistuva jäätyminen ja sulaminen keväisin ja syksyisin.

Kivilajien mekaanisessa rapautumisessa kiven osasten tai mineraalien keskinäiset liitokset heikkenevät vähittäin ja kivilaji hienonee.

Mineraalien kemiallinen rapautuminen riippuu lähinnä sen vapaan pinnan laajuudesta, joka on kosketuksissa kiven raoissa tai huokosissa olevan elektrolyyttisen veden kanssa sekä myös kunkin mineraalin kemiallisista ominaisuuksista.

Kivilajien kemiallisessa rapautumisessa mineraalien kidehilassa tapahtuu alkuaineiden ja rakenteiden muutoksia, joiden seurauksena mineraalit voivat hajota ja kivilajista tulee pehmeä ja huokoinen tai se liukenee kokonaan. Kemiallinen rapautuminen saattaa olla pitkälle edennytä ruuhjavyöhykkeissä.

2.2 Rakennusgeologinen kallioluokitus

Rakennusgeologinen kallioluokitus on kalliorakentamisessa käytetty rakennustekninen kallioluokitusjärjestelmä. Se on järjestelmä kallion ominaisuuksien selkeäksi ilmaisemiseksi ja sitä käytetään näitä ominaisuuksia kuvattaessa. Luokitusta voidaan käyttää eri tutkimus-, suunnittelu- ja rakennusvaiheissa. Luokituksen tunnuksia käytetään piirustuksissa ja taulukoissa, joissa sanallinen kuvaaminen ei ole tarkoituksenmukaista [5].

Rakennusgeologisessa kallioluokituksessa kallion laatua kuvataan kahden peruspiirteen, kivilaadun ja rakoilun, avulla. Luokitusta tulee soveltaa rakennuskohteelta edellytettävien ominaisuuksien mukaisesti.

Seuraavassa esitetty luokitus perustuu rakennusgeologiseen kallioluokitukseen [1].

2.2.1 Kivilaatu

Kivilaadun luokitusominaisuudet ovat rapautumisaste, osasten järjestäytyneisyys, raekoko ja päämineraalit.

Rapautumisaste

Rapautumisaste jaetaan neljään luokkaan rapautumattomasta täysin rapautuneisiin. Muuttumisella tarkoitetaan seuraavassa rapautumisen aiheuttamaa muuttumista.

Rapautumaton kiviaines on tervettä. Mineraalit ovat kokonaan tai lähes muuttumattomia ja lujasti kiinni toisissaan. Murtopinnan väri on päämineraalien määräämä. *Vähän rapautunut* kiviaines on osittain muuttunut. Mineraalit ja niiden väliset liitokset ovat muuttumisen johdosta heikentyneet. Murtopinnan väri on samea. *Runsaasti rapautunut* kiviaines on helposti murenevaa ja löyhää. Helposti rapautuvat mineraalit ovat täysin muuttuneita tai poisliuennut. Kvartsi ja eräät maasälvät ($An > 50\%$) pysyvät lähes muuttumattomina, mutta mineraalit ovat löyhästi kiinni. Murtopinnoilla mineraalien väri on vaihteleva tai himmeä. *Täysin rapautunut* kiviaines on löyhää savimaista massaa, joka sisältää pääasiassa savimineraaleja.

Rapautumisaste kuvaa kiven nykyistä tilaa eikä kiven rapautumistaipumusta (esimerkiksi rapautumaton kivi voi olla helposti rapautuvaa). Rapautumisalttiita ovat muun muassa kalsiitti- ja kiisupitoiset kivilajit.

Osasten järjestyneisyys

Osasten järjestyneisyys tarkoittaa kivilaadun perusosasten geometristä esiintymistapaa. Osasten järjestyneisyys voi olla massamainen, liuskeinen tai seoksinen.

Massamaisessa kivilaadussa osaset ovat jakautuneet lähes tasaisesti. Mineraaleilla ei ole selvää yhdensuuntaisuutta tai se on heikkoa. Kivilaadun ominaisuudet ovat kaikkiin suuntiin samanlaiset.

Liuskeisessa kivilaadussa mineraalit ovat suuntautuneita. Liuskeisuusaste voi olla suuntaukseton, heikko (osa mineraaleista suuntautunut, mutta kivi ei lohkea suuntauksen mukaisiksi kappaleiksi), kohtalainen (suurin osa mineraaleista suuntautunut, kivi lohkeaa epätasaisiksi ja laattamaisiksi kappaleiksi) tai voimakas (mineraalit yhdensuuntaisia, kivilaatu lohkeaa ohuiksi laatoiksi).

Seoksinen kivilaatu muodostuu kahdesta tai useammasta keskenään vaihtelevasta kivilajista. Seoksiset kivilajit voivat olla massamaisia tai kohtalaisesti tai voimakkaasti liuskeisia. Seoksiselle kivilaadulle voidaan tarvittaessa antaa lisämääritteeksi juomuinen, raitainen tai murskaleinen. Juomuinen kivilaatu sisältää eri kivilajeista muodostuneita juonia tai muita pitkänomaisia osueita. Raitaisessa kivilaadussa on suoraviivaisia tiheästi vaihtelevia kivilajiraitoja. Murskaleisessa kivilaadussa on sulkeumina perusmassasta selvästi erottuvia, toista kivilajia olevia murskaleita.

Raekoko

Vallitseva raekoko määritetään käyttäen luokkia *hienorakeinen* (vallitseva raekoko alle 1 mm), *keskirakeinen* (1 ... 5 mm), *karkearakeinen* (5 ... 50 mm) ja *suurirakeinen* (yli 50 mm). Epämääräisen muotoisista rakeista halkaisijana pidetään rakeen leveyttä. Kuituisesta päämineraalista ei raekokoa ilmoiteta, vaan ilmoitetaan raemuoto (kuituinen). Jos jokin mineraali esiintyy perusmassan rakeita selvästi suurempina, yksittäisinä rakeina, kuvataan kivilaatua sanalla porfyyrinen.

Päämineraalit

Kivilaadusta määritetään 2 ... 4 päämineraalia vallitsevuusjärjestyksessä. Lisäksi voidaan ilmoittaa muita mineraaleja, jos ne ovat teknisiltä ominaisuuksiltaan merkityksellisiä (esimerkiksi savimineraalit).

Kivilaadun kovuus ja sitkeys

Kivilaadut määritellään rakennusteknisiä ominaisuuksia määrittävien mineraalien perusteella pehmeiksi, hauriksi, sitkeiksi ja koviksi.

Kivilaatu on *pehmeä* (p), mikäli kiilteiden, talkin, kloriitin ja karbonaatin yhteispitoisuus on yli 40%. Kivilaatu on *hauras* (h), mikäli maasälpä on yli 40% ja amfiboleja ja pyrokseeneja yhteensä alle 25%. Kivilaatu on *sitkeä* (s), mikäli amfiboleja ja pyrokseeneja on yhteensä yli 25%. Kivilaatu on *kova* (k), mikäli kvartsin osuus on yli 40%. Edellä mainitut raja-arvot likimääräisiä ja

kivilaadun nimitys annetaan sen perusteella, mikä näistä nimityksistä kuvaa parhaiten kivilaadun teknisiä ominaisuuksia.

Kivilaadun luokitus

Kivilaadun luokitusominaisuudet ja niitä vastaavat tunnuksat on esitetty tiivistettynä taulukossa 1.

Taulukko 1. Kivilaatuja luokitusominaisuudet [1].

rapautuneisuus	osasten järjestyneisyys	mineraalien vallit- seva raekoko (mm)	päämineraalit
rapautumaton, Rp0	massamainen, M	hienorakeinen, Vr <1	kvartsi, Kv maasälvät, Ms
vähän rapautunut, Rp1	liuskeinen, L	keskirakeinen, Vr 1...5	kiilteet, Ki amfibolit ja pyrokseenit, AP
runsaasti rapautu- nut, Rp2	seoksinen, S	karkearakeinen, Vr 5...50	karbonaatti, Kr
täysin rapautunut, Rp3		suurirakeinen, Vr >50	talkki, kloriitti, TK savimineraalit, Sm

Lisämääritteenä mainitaan kivilaadun kovuus ja sitkeys.

Mikäli kivilaatu on löyhää ja helposti murenevaa, se on kuvattava lisänimityk-
sellä löyhä. Muita kivilaatuja sanotaan kiinteiksi tai rikkonaisiksi [5].

2.2.2 Kallion rakoilu

Kallion yksittäisellä raolla tarkoitetaan tasoa, joka jakaa kallion kahteen erilliseen osaan. Kallioon syntyy rakoja jännityksen, puristavan tai vetävän voiman vaikutuksen, ylittäessä kallion leikkaus- tai vetolujuuden. Leikkausrako syntyy kallioon kohdistuvan rakotasoa vinosti leikkaavan jännityksen vaikutuksesta ja vetorako puolestaan rakotasoa vastaan kohtisuoran vetojännityksen tai sen suuntaisen puristusjännityksen vaikutuksesta [6]. Leikkausrakojen rakopinnat ovat yleensä sileitä ja rapautumattomassa kalliossa kiinni toisissaan, kun taas vetoraot ovat usein rosoisia ja avoimia tai myöhemmin rapautumalla syntyneen tai muualta kulkeutuneen pehmeähkön sekundääri-aineiden täyttämiä [6].

Rakotyypit

Rakoilujärjestelmät voidaan jakaa neljään tyyppiin: kuutio-, laatta-, kiila ja sekarakoilu.

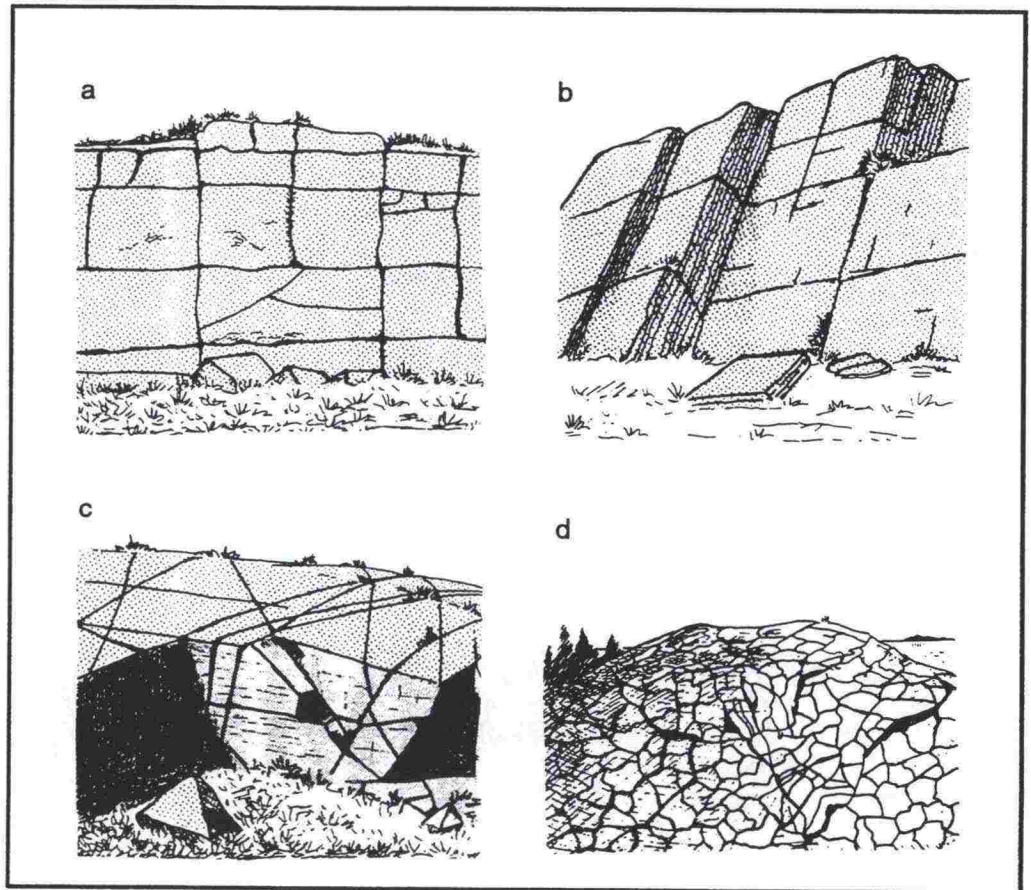
Kuutiorakoilleessa kalliossa on kolme likipitään kohtisuorassa toisiaan vastaan olevaa rakosuuntaa, joissa rakotiheys on melkein sama. Kalliolohkot ovat lähes kuutiomaisia tai paksuja suuntaissärmiöitä.

Laattarakoilussa yhden rakosuunnan rakoväli on muita selvästi tiheämpi ja säännöllisempi, jolloin kallion lohkot ovat laattamaisia.

Kiilarakoisessa kalliossa on kaksi tai useampia muita selvemmin kehittyneitä rakosuuntia, joista ainakin kaksi leikkaa toisiaan noin 20° ... 40° kulmassa, ja lohkot ovat kiilamaisia.

Sekarakoilun raot ovat enimmäkseen mutkittelevia ja erisuuntaisia. Kalliossa ei ole selvästi vallitsevia rakosuuntia. Rakoilujärjestelmiä on esitetty kuvassa 3.

Kivilajien pääluokilla on kullakin oma rakoilutaipumuksensa, lohkeavuus, joka johtuu syntyäikäisen jännitystilojen aiheuttamasta suuntauksesta [7]. Graniittisissa kivissä esiintyy lähinnä kuutiorakoilua, sedimenttikivissä ja liuskeissa laattarakoilua, gneisseissä kiilarakoilua ja gabroissa, peridotiiteissa ja useissa seoskivissä sekarakoilua.



Kuva 3. Rakoilutyypit a) kuutiorakoilu, b) laattarakoilu, c) kiilarakoilu ja d) sekarakoilu [1].

Rakotiheys

Rakotiheydellä tarkoitetaan yksittäisten rakojen keskinäistä etäisyyttä. Rakotiheys vaihtelee eri suunnissa rakoilujärjestelmän mukaisesti. Rakotiheys ilmoitetaan keskimääräisenä rakovälinä ja se tulisi mitata kaikissa vallitsevissa rakosuunnissa. Mikäli rakoilujärjestelmä ei ole selväpiirteinen tai se muodostaa lohkoja, voidaan rakotiheys mitata kyseisen lohkon koon perusteella.

Kalliopinnasta rakotiheys mitataan kohtisuorassa suunnassa vallitseviin rakosuuntiin nähden. Rakotiheys ilmoitetaan kyseisen suunnan keskimääräisenä rakovälinä. Kairausnäytteistä lasketaan rakoluku (kpl/m) metrin välein. Rakolukua määrättäessä lasketaan kaikkien erisuuntaisten primaarirakojen summa kyseisellä metrivälillä, mutta kairauksen aiheuttamia katkeamia ei oteta huomioon. Mikäli mahdollista, ja aina suunnatuista kairausnäytteistä, pyritään rakotiheys määrittämään eri suunnissa.

Taulukko 2. Rakotiheys [1].

Nimitys	Tunnus	Rakoväli m	Rakoluku kpl/m	Lohkon koko m ³
Harvarakoinen	Rk 1	> 1,0	< 1	> 1,0
Vähärakoinen	Rk 2	0,3...1,0	1...3	0,003...1,0
Runsarakoinen	Rk 3	0,1...0,3	3...10	0,001...0,003
Tiheärakoinen	Rk 4	< 0,1	> 10	< 0,001

Rakoilua voidaan kuvata myös RQD-luvulla (rock quality designation) [8]. Vähintään metrin mittaisesta kairasydännäytteestä mitataan yli 10 cm pitkien ehjien osien yhteispituus ja lasketaan montako prosenttia se on kokonaispituudesta. Luku voidaan laskea metreittäin tai esimerkiksi kivilaadun mukaiselle osille. Tulos pyöristetään lähimpään 5%:iin ja alle 10% tulos 10%:ksi. RQD-luku kuvaa rakoilun määrän ohella myös kallion rakennetta, joten rakenegeologisen kallioluokituksen rakotiheysluokkia vastaavaa RQD-luvun arvoja ei voi määrätä. Kirjallisuudessa [8] on annettu kallion laadulle seuraavat luokat RQD-luvun perusteella: 10 ... 25% erittäin huono, 25 ... 50% huono, 50 ... 75% kohtalainen, 75 ... 90% hyvä ja 90 ... 100% erinomainen.

Rakojen laatu

Raon laatu voi olla joko tiivis, avoin tai täytteinen. *Tiiviissä raossa* rakopinnat ovat kiinni toisissaan ja siinä ei ole täytettä. *Avoimen raon* rakopinnat ovat irti toisistaan, mutta niiden välissä ei esiinny täytettä. *Täytteisten rakojen* rakopintojen välissä on pehmeää ja/tai irtainta mineraaliainesta. Vesi liikkuu avoimessa raoissa, mutta tiiviissä tai täytteisessä raossa veden liike on korkeintaan vähäistä.

Täytteisiin rakoihin on voinut kulkeutua raontäytettä muualta tai se on muodostunut rakopintojen seinästä. Täytteiset raot jaetaan haamiskarakoihin, savirakoihin ja mururakoihin. Raontäytteet ovat voineet syntyä lähinnä neljällä tavalla. 1) Raossa kulkevasta vedestä mekaanisesti kerrostuneesta tai kemiallisesti saostuneesta aineksesta. 2) Ruhjoutuneessa kalliossa edenneen kemiallisen rapautumisen synnyttämästä pehmeästä ja irtaimesta aineksesta. 3) Magmaattisten prosessien uuttaessa siirros- ja rakopintojen seinämien kiviainesta kuten edellä kemiallisessa rapautumisessa. 4) Hydrotermisten liuosten tuoman mineraaliaineksen kiinnittyessä ja kiteytyessä siirros-pinnoille tai rakoihin.

Haarniskarakojen rakopintoja peittää siirrosliikunnoissa uurteiseksi tai sileäksi hioutunut, tavallisimmin kloriitista koostuva ohuehko mineraalikerros (haarniskapinta). Saviraon rakotäyte on enimmäkseen savimaista mineraaliainesta, kalliosavea, jonka aineksina ovat hienoksi jauhautuneet kivimineraalit (useimmiten kvartsi ja maasälpä) ja/tai tietyt savimineraalit (kuten kloriitti, serisiitti, kaoliini ja montmorilloniitti) ja/tai näiden savimineraalien muodostamat seos-mineraalit sekä rautaoksidit. Tällaista siirrosrakoa, jossa on savea tai savimaista ainetta, voidaan kutsua myös lustaksi [9]. Mururaon raontäyte on pääasiassa savea karkeampaa mineraaliainesta, lähinnä kvartsia ja maasälpää ja/tai kalsiittia tai rautaoksideja. Rakotäytteistä kalliorakentamiselle haitallisia ovat ne saviraot, jotka sisältävät paisuvia montmorilloniittimineraaleja. Näiden savimineraalien kiderakenne voi ottaa rakennekerroksiensa väliin mm. vettä. Tästä on seurauksena mineraalin paisuminen, pursuaminen ja niistä johtuva kalliolohkojen siirtyminen, minkä ilmiön on todettu vahingoittaneen kalliorakenteita [10].

Kallion rakoilun luokitus

Rakennegeologisessa kallioluokituksessa käytetään taulukon 3 mukaisia nimityksiä kallion ominaisuuksista. Rakoilun määrittämisessä ja kuvauksessa on myös merkittävimpien rakojen suunta ilmoitettava [6].

Taulukko 3. Kallion rakoiluominaisuudet [1].

rakoilutyyppi	rakotiheys	rakojen laatu
kuutiorakoilu	harvarakoinen, Rk 1	tiivis rako
laattarakoilu	vähärakoinen, Rk 2	avoin rako
kiilarakoilu	runsarakoinen, Rk 3	täytteinen rako
sekarakoilu	tiheärakoinen, Rk 4	- haarniskarako - savirako - mururako

2.2.3 Kalliolaatu

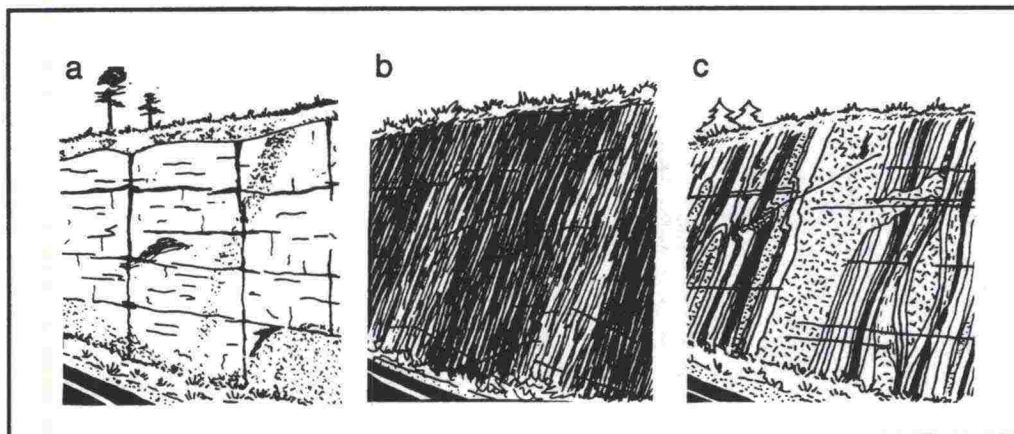
Kallion rakenteelliset ominaisuudet vaikuttavat oleellisesti kallion louhittavuuteen. Kallioleikkauksia suunniteltaessa on kalliolaatu otettava huomioon irrotettavien massojen käytön suunnittelemiseksi, oikean louhintamenetelmän löytämiseksi, kustannusten säästämiseksi ja pysyvän lopputuloksen aikaansaamiseksi [11]. Kalliolaatu vaikuttaa myös porattavuuteen, irrotettavuuteen ja murskattavuuteen.

Kalliolaadun määrittämisessä käytetään kriteereinä kallion rakenteellista kiinteyttä, rakennetyyppejä ja rakoiluastetta. Näistä kaksi ensinmainittua kuvaavat kivilaatua ja viimeinen rakojen laatua. Kalliolaatua määritettäessä voidaan lisäksi mainita (vallitsevan) kivilaadun kovuus ja sitkeys.

Kallion rakennetyypit

Rakenteellisesti kalliolaadut jaetaan kolmeen tyyppiin: kiinteään, löyhään ja rikkonaiseen kallioon.

Kiinteä kallio koostuu kiinteistä kivilaaduista ja se ei ole rikkonaista. Kiinteä kallio voi olla rakenteeltaan massa-, liuske- tai seosrakenteista.



Kuva 4. Kiinteän kallion rakennetyypit. a) massarakenteinen, b) liuskeraken- teinen ja c) seosrakenteinen [1].

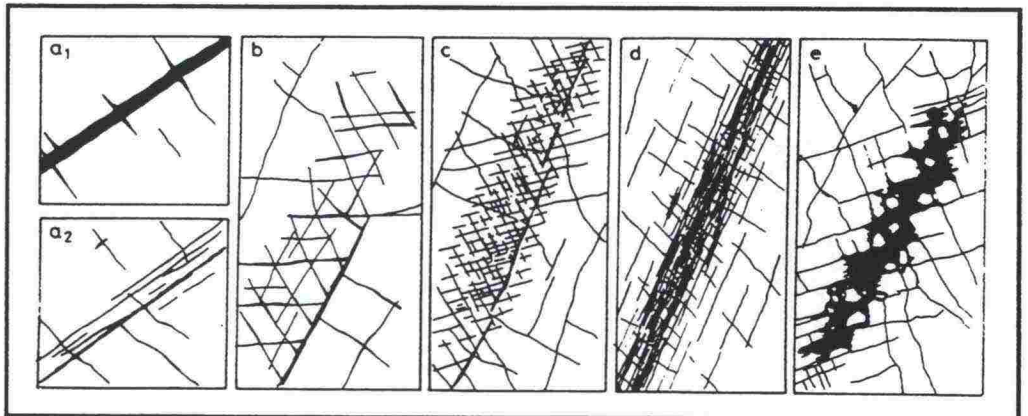
Massarakenteinen kallio koostuu yhdestä tai useammasta toistensa kaltaisesta homogeenisesta, massamaisesta, rapautumattomasta tai vähän rapautuneesta kivilaadusta. Rakotiheys on harva-, vähä- tai runsasrakoista.

Liuskerakenteisessa kalliossa ovat vallitsevina kohtalaisesti tai voimakkaasti suuntautuneet liuskeiset kivilaadut. Ne ovat rapautumattomia tai vähän rapautuneita ja rakotiheys on harva- vähä- tai runsasrakoisia.

Seosrakenteinen kallio koostuu seoksisista kivilaaduista tai massamaiset, liuskeiset ja/tai seoksiset kivilaadut vaihtelevat keskenään. Kivilaatu on rapautumatonta tai vähän rapautunutta ja rakotiheys on harva- vähä- tai runsasrakoisia.

Löyhän kallion rakennetyypit ovat löyhä- ja raparakenteinen kallio. Löyhärakenteisen kallion kivilaadut ovat löyhiä, helposti murenevia ja kivilaadun rakotiheys on harva-, vähä tai runsasrakoinen. Raparakenteinen kallio muodostuu runsaasti tai täysin rapautuneista kivilaaduista.

Rikkonaisen kallion rakennetyyppejä ovat halkeama-, rako-, murros-, ruhje- ja savirakenteinen kallio. Rikkonaista kallionosaa sanotaan heikkousvyöhykkeeksi, jos se muodostaa ympäristöään heikomman, selvästi erottuvan osan [12].



Kuva 5. Rikkonaisen kallion rakennetyypit. a) halkeama- b) rako- c) murros-, d) ruhje- ja e) savirakenteinen [1].

Halkeamarakenteinen kallio muodostuu yhdestä tai muutamasta lähekkäisestä avoimesta tai täytteisestä raosta, jotka jakavat kallion kahteen erilliseen osaan.

Rakorakenteinen kallio on kallion osa, jossa erisuuntaiset avoimet raot aiheuttavat kallion lohkaremaisen rakenteen. Rakoilu on yleensä runsasta (rakoväli 0,1 ... 0,3 m) ja raot voivat olla paikoin täytteisiä.

Murrosrakenteisen kallio on kallion osa, jossa rakoilu on tiheää (rakoväli pääosin alle 0,1 m). Rakojen täytteisyys on vähäistä.

Ruhjerakenteinen kallio on kallion osa, jossa rakoilu on runsasta tai tiheää ja raot ovat savitäytteisiä.

Savirakenteinen kallio on kallion osa, jossa esiintyy runsaasti kalliosavea.

Kalliolaadun luokitus

Kalliolaadun luokitusominaisuudet on esitetty taulukossa 4. Taulukossa on myös esitetty kunkin kalliolaadun tunnus.

Taulukko 4. Kalliolaadun luokitus [1].

rakenteellinen kiinteys	rakennetyyppi	tunnus	tihein rakoilu ja/tai rakojen täytteisyys
kiinteä kallio	massarakenteinen	Ma1	harvarakoinen
		Ma2	vähärakoinen
		Ma3	runsarakoinen
	liuskerakenteinen	Li1	harvarakoinen
		Li2	vähärakoinen
		Li3	runsarakoinen
	seosrakenteinen	Se1	harvarakoinen
		Se2	vähärakoinen
		Se3	runsarakoinen
löyhä kallio	löyhärakenteinen	Lö1	harvarakoinen
		Lö2	vähärakoinen
		Lö3	runsarakoinen
	raparakenteinen	Ra	(kuvataan mikäli mahdollista)
rikkonainen kallio	halkeamarakenteinen	Ri I	(jakaa kallion terävästi kahteen erilliseen osaan)
	rakorakenteinen	Ri II	runsarakoinen, ei rakotäytettä
	murrosrakenteinen	Ri III	tiheärakoinen, rakojen täytteisyys vähäistä
	ruhjerakenteinen	Ri IV	runsas- tai tiheärakoinen, raoissa savitäytettä
	savirakenteinen	Ri V	runsaasti kalliosavea

Kallion homogeenisuus

Kallion homogeenisuudella tarkoitetaan kivilaadun ja rakotiheyden vaihtelutapaa. Homogeenisuus huomioidaan erikseen sekä kivilaadun että rakoilun suhteen.

Homogeeninen kivilaatu koostuu pääosin yhdestä kivilaadusta. Epähomogeeninen kivilaatu on kahden tai useamman kivilaadun muodostama massa. Mikäli kaksi tai useampia kivilaatuja vaihtelevat suurinpiirtein säännöllisesti sanotaan kivilajia tasaisesti vaihtelevaksi.

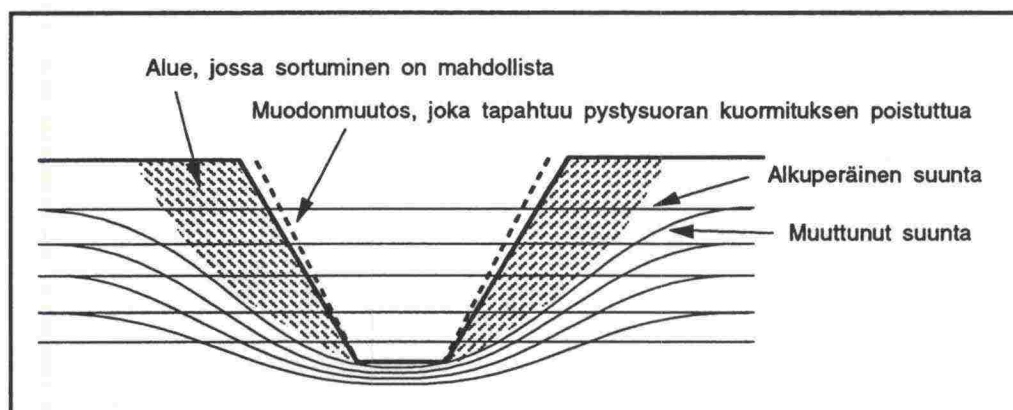
Homogeenisesti rakoilleessa kalliossa on rakotiheys jokseenkin säännöllinen, tasaisesti vaihtelevassa kalliossa rakotiheys vaihtelee säännöllisesti ja epähomogeenisessa rakotiheys vaihtelee epäsäännöllisesti.

2.3 Kallioleikkauksen kalliomekaniikka

2.3.1 Kallion sisäinen jännitystila

Kallioperässä, kalliolohkoissa ja niiden välillä, esiintyy yleisesti jännitystila, niin sanottu vuoripaine. Jännityksen suuruus vaihtelee eri suunnissa, toisin sanoen jännitystila on ellipsoidinen. Lähellä kallion pintaa pääjännitys on lähes vaakasuora, mutta vaihtelee suuruudeltaan ja ilmansuunnaltaan kivilajien koostumuksen ja rakenteiden sekä kalliopinnan topografian mukaan. Jännitystila aiheuttaa pintaa vastaan kohtisuoraa vetoa, joka puolestaan synnyttää pinnanmukaiset lähes vaakasuorat raot. Jännityksen pystykomponentti kasvaa syvemmällä kalliossa [7].

Louhinta muuttaa kallion sisäistä jännitystilaa. Jännityksen laukeaminen ja jännityssuunnissa tapahtuvat muutokset aiheuttavat kallioleikkauksessa muodonmuutoksia, joka saattavat johtaa rakoiluun ja sortumisiin sekä toisaalta leikkauksen pohjalla syntyvään kuormitushuippuun.



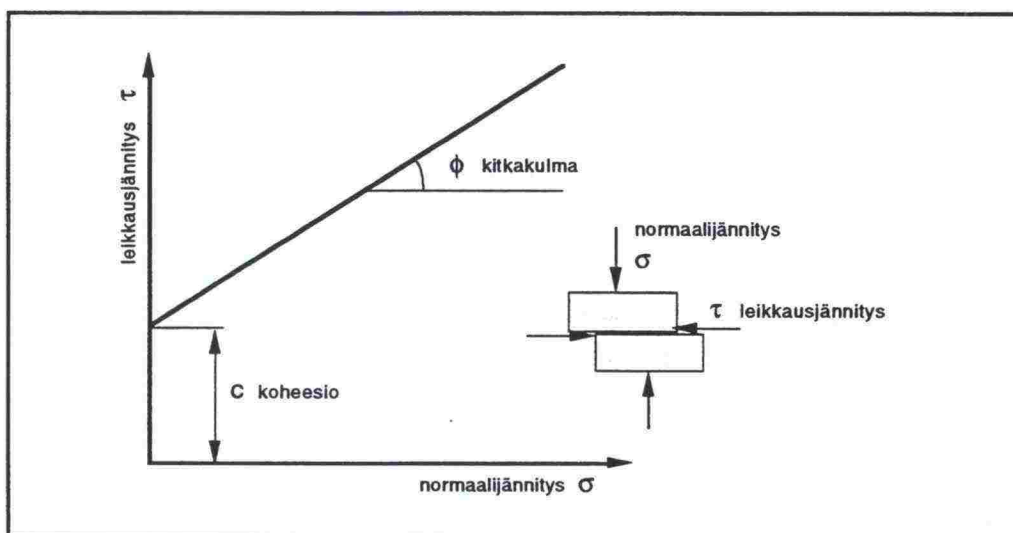
Kuva 6. Periaatekuva avolouhoksen vaikutuksista horisontaalivoimiin [9].

Jännitystilan vaikutus ei useimmiten ole merkittävä kallioleikkauksen kannalta ja sen tutkiminen tulee harvoin kysymykseen. Mikäli kohdealueen jännitystilat tunnetaan tai arvioidaan suuriksi (esimerkiksi lähialueen tai identtisen tilanteen perusteella) voidaan mitata jännitystilan suuruus ja suunta. Mittaustuloksella arvioidaan kallion jännitystila louhinnan jälkeen, jotta voidaan suunnitella tarvittavat lujitus- tai sitomistoimenpiteet.

2.3.2 Yksittäisen kappaleen pysyvyys

Louhimalla tehdyt kallioleikkaukset poikkeavat monin tavoin mm. rikkonaisuutensa perusteella luonnontilaisesta kalliosta. Kalliomekaanisesti kallioleikkaus on rakoilun ja epäjatkuvuuspintojen rikkomaa ja koostuu yksittäisistä kivistä ja lohcareista. Kalliomekaaninen tarkastelu perustuu yksittäisen kappaleen käyttäytymisen tutkimiseen.

Kallioleikkauksen pysyvyys on riippuvainen rakojen ja epäjatkuvuuspintojen leikkauslujuudesta. Tärkeimmät kalliolohkojen pysyvyyteen vaikuttavat ominaisuudet ovat kitkakulma ja koheesio [13]. Koheesio ja kitkakulma määritellään leikkauksen suuntaisen jännityskomponentin ja leikkausta vastaan kohtisuoran jännityskomponentin väliseksi suhteeksi (kuva 7). Koheesio vastaa kappaleen lähtökitkaa ja kitkakulma kappaleen kitkaa alustalla. Eri kivilajien koheesiolle ja kitkakulmalle on kirjallisuudessa [13] määritetty tyypillisiä arvoja. Useimmilla kivilajeilla annettujen arvojen vaihteluväli on suuri.



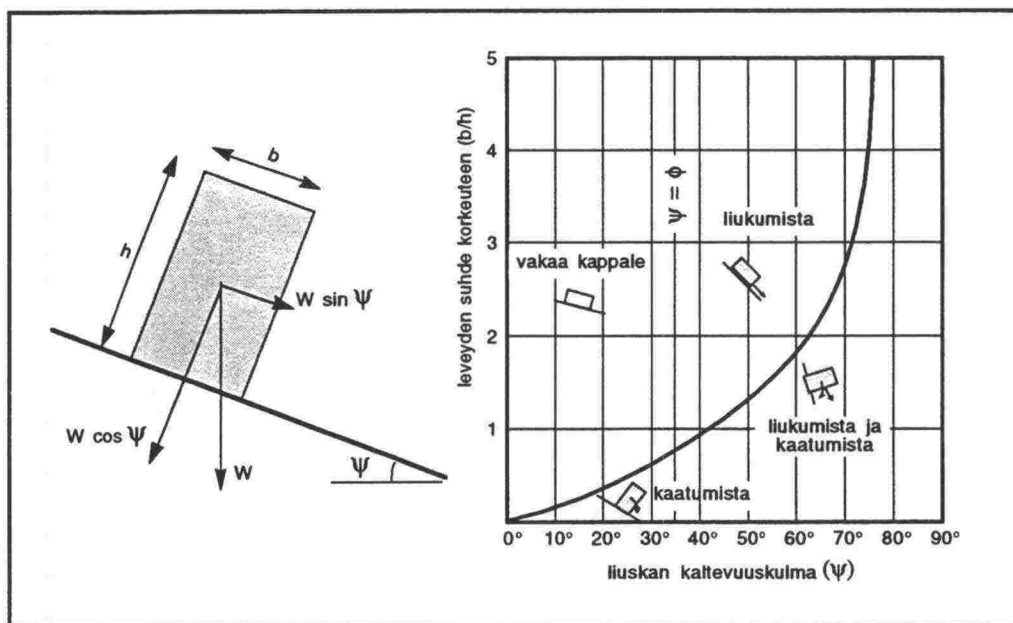
Kuva 7. Leikkausjännityksen (τ) suhde normaalijännitykseen (σ), sekä näiden jännitysten vaikutussuunnat [13].

Yksittäisen kappaleen irtoaminen on monimutkainen liikesarja, johon liittyy lähinnä liukumista ja kaatumista. Irronneen kappaleen liikkeeseen liittyy lisäksi pyörimistä, vapaata pudotusta ja pomppimista.

Kappale liikuu painovoiman vaikutuksesta, mikäli sen pinnansuuntainen painovoimakomponentti (kuvassa 8 $W \sin \psi$) on suurempi kuin kappaleen ja pinnan välillä vaikuttavien kitkakulman ja koheesio summa (R). Kitkakulma ja koheesio muuttuvat hieman veden vaikutuksesta [13].

Kappale kaatuu, jos sen painovoima (kuvassa 8 W) ei vaikuta kappaleen pohjatasoa kautta [13].

Kappaleen tasapainotilaan vaikuttavat kappaleen painovoiman sijainti kappaleen pohjatasoon nähden. Kuvassa 8 on esitetty raja liukumiselle ja kaatumiselle, kun kitkakulmana on 35° (tyypillinen useille kivilajeille). Kappale on vakaa, jos epäjatkuvuustason kaade ei ylitä kitkakulmaa ja kappaleen leveyden suhde korkeuteen ei ole kovin pieni. Muissa tapauksissa esiintyy liukumista ja/tai kaatumista. Jos epäjatkuvuustason on lähes pystysuora, on kappale aina epävakaa.

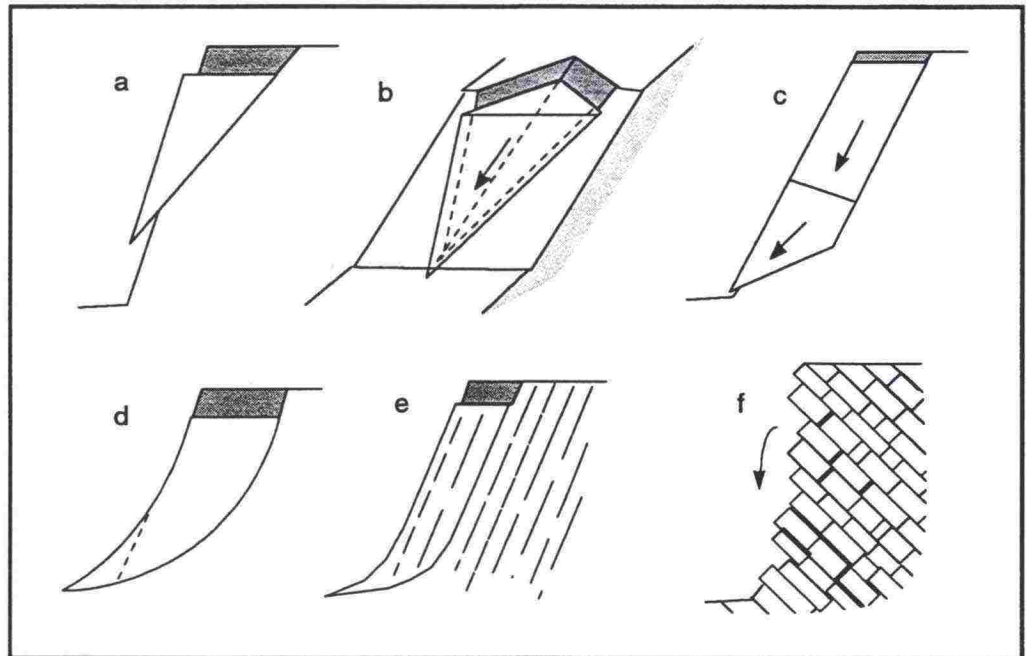


Kuva 8. Yksittäisen kappaleen liukuma ja kaatuminen [13]. W on kappaleen massa, h ja b korkeus ja leveys, ϕ on kitkakulma ja ψ tason kaltevuuskulma (kaade).

2.3.3 Kallioluiskan murtuminen

Kallioluiskien murtumiseen ja sortumiseen vaikuttavat kallion rakenne sekä luiskan ja rakenteen suuntaus siten, että murtuminen tapahtuu epäjatkuvuuskohtien mukaisesti. Vain hyvin korkeissa leikkauksissa ja/tai rikkonaisilla kivilajeilla materiaalin ominaisuudet (kimmomoduli ja muodonmuutos) ovat ratkaisevia [14]. Kriittisimpiä ovat alle 25 metriä korkeat kallioleikkaukset, joissa olevan epäjatkuvuustason kaade on yli 40° . Tätä korkeammilla kallioleikkauksilla kriittinen kulma laskee noin 25 asteeseen. Voimakkaasti rapautuneet tai hyvin rikkonaiset kallioleikkaukset käyttäytyvät maaluisien kaltaisesti.

Kallioleikkauksille voidaan määrittää murtumismekanismit. Näitä ovat siirros- ja pyörähdysmurtuma sekä lohcareiden irtoaminen. Lisäksi siirros- ja pyörähdysmurtumat jaetaan eri tyyppisiin [14].



Kuva 9. Kallioluiskankin murtumismekanismeja [13] ja [14]. Siirros- ja kiilamurtumia ovat a) taso-, b) kiilamurtuma sekä c) aktiivi- ja passiivikappaleen murtumat. Pyörähdysmurtumia ovat d) ympyrämurtuma ja e) valuma. f) Lohkareiden irtoaminen.

Siirros- ja kiilamurtumat tapahtuvat epäjatkuvuustason tai -tasojen suhteen, mikäli sen/niiden kaade on pienempi kuin kallioleikkauksen kaade. Siirros- ja kiilamurtumien tyyppejä ovat taso-, kiilamurtuma sekä aktiivi- ja passiivikappaleen murtumat. Tasomurtuma (kuva 9a) tapahtuu yksittäisen tason suunnassa. Kiilamurtuman (kuva 9b) irtoavan kiilan erottaa kaksi tasoa. Aktiivi- ja passiivikappaleen murtumassa epävakaa lohkarie tekee toisesta, sinänsä vakaasta, kappaleesta epävakaa (kuva 9c). Siirros- ja kiilamurtumat esiintyvät tyypillisesti kiinteä rakenteisissa kalliolaaduissa [14]. Siirros- ja kiilamurtumiin vaikuttaa rakoihin jäätyvä vesi, joka löyhdyttää rakennetta ja voi sulamisvaiheessa muodostaa liukupinnan.

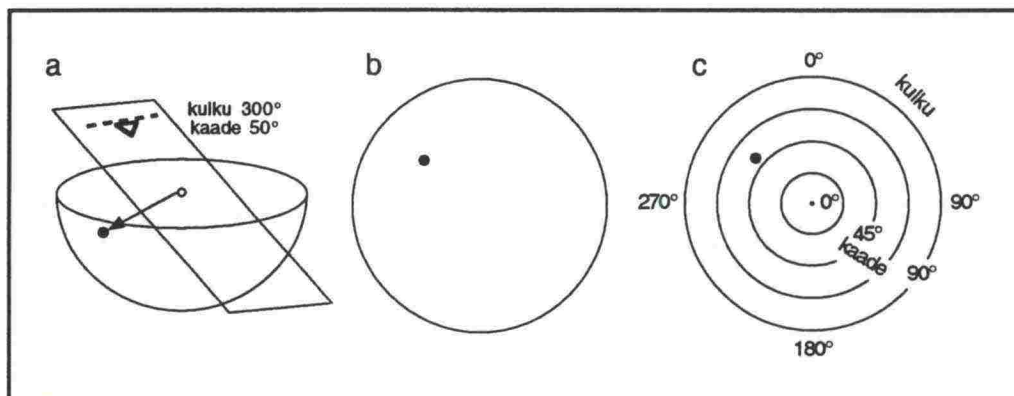
Ympyräliukumurtuma (kuva 9d) on tyypillinen maalajeille tai hyvin rikkonaiselle kalliolle. Valumista (kuva 9e) voi tapahtua löyhälle ja runsasrakoiselle kalliolle [14].

Kivilohkareiden irtoamista (kuva 9 f) leikkauksesta esiintyy, jos kallio on runsasrakoista tai -liuskeista ja kyseinen epäjatkuvuussuunta on poispäinkalteva leikkaukseen nähden [14]. Lohkaroituminen on yleistä tiekallioleikkauksien toisessa liuskassa, jos vastakkainen puoli on louhittu suurinpiirtein rakoilun suuntaisesti (kuva 12 d). Varomaton louhinta aiheuttaa runsaasti rakoilua ja siitä seuraavaa lohkaroitumista.

Rakodiagrammi

Kalliossa olevia rakenteita voidaan kuvata piirtämällä rakennegeologisista tasohavainnoista, lähinnä rakoilusta, rakodiagrammeja.

Taso kuvataan pisteeksi niin sanotulle alapalloprojektiolle. Piste muodostuu tason normaalin (tasoa vasten kohtisuoran suoran) ja alapallon leikkauspisteeseen (kuva 10a). Tulkittaessa alapalloprojektiota katsotaan ylhäältäpäin (kuva 10b) [15]. Likipitään sama-asentoiset tasot muodostavat pisteensä lähelle (esimerkiksi suunnilleen vaakatasoiset tasot antavat pisteitä keskipisteen lähelle). Käytännössä pisteet sijoitetaan suoraan alapalloprojektiota kuvaavalle verkolle tason kaateen ja kulun mukaisesti (kuva 10c).



Kuva 10. Rakodiagrammin tekeminen: a) tason projisoiminen alapalloprojektiolle, b) alapalloprojektiio ja tasoa vastaava piste ylhäältäpäin katsottuna ja c) kulku ja kaade rakodiagrammiverkolla [15].

Tutkimusalueen kaikki rakohavainnot kerätään diagrammiin, jolloin voidaan havaita vallitsevat rakoilusuunnat. Mikäli diagrammiin lisätään suunniteltu leikkaussuunta, voidaan määrittää kriittisten lohcareiden muoto. Toisaalta diagrammia voidaan käyttää hyväksi määrittäessä kalliomekaanisesti edullisin leikkaussuunta. Rakodiagrammin tekemistä ja käyttöä ovat tarkemmin esittäneet Hoek ja Bray [13] ja Billings [16].

Epävakaa kallioleikkaus voidaan vakavoittaa valitsemalla sopiva leikkaussuunta, lujituksella (lähinnä pultitus ja ruiskubetonointi) tai kuivatuksella.

3 Kallioleikkauksen suunnittelu

3.1 Kallioleikkaukset tiensuunnittelussa

Kallioleikkaukset suunnitellaan osana tiensuunnittelua. Tiensuunnittelu on luonteeltaan monivaiheista ja asteittain tarkentuvaa. Sen vaiheet ovat esi-, yleis-, tie- ja rakennussuunnitelma. Esi-suunnittelu tarkoittaa pääsuuntaselvitystä, jossa tutkitaan eri linjausvaihtoehtoja ja laaja-alaisia ympäristövaikutuksia. Kun pääsuunta on valittu, tehdään yleissuunnitelma, joka sisältää mm. linjan ja korkeusaseman likimääräisen suunnittelun, liikenneteknisten periaateratkaisujen suunnittelun ja tiensuunnittelun yhteensovittamisen alueen muun suunnittelun kanssa sekä ympäristö- ym. vaikutusten arviointia. Tiesuunnittelu on tien yksityiskohtaista suunnittelua, jossa määrätään mm. tien tarkka sijainti ja muut ratkaisut. Rakennussuunnitelma sisältää tien yksityiskohtaiset rakenne- ym. piirustukset [17].

Kallioleikkaukset huomioidaan tiensuunnittelussa on kahdella tavalla. Toisaalta kallioleikkaus sijoitetaan tien linjauksen mukaiseen paikkaan ja toisaalta kallioleikkaus voi vaikuttaa linjaukseen. Ensinmainittu on yleensä määräävämpi, mutta kallion ominaisuuksien huomioon ottaminen on hyödyllinen sekä tien linjauksen että kallioleikkauksen teknisen toteutuksen kannalta.

Kalliorakenteiden suunnittelua ja toteuttamista ohjaavat Tielaitoksen tienrakenustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset [21]. Kallioleikkausten suunnittelua koskevat ohjeet eivät ole sitovia ja niistä voidaan poiketa resursien, olosuhteiden tai suunnittelijan toiveiden mukaisesti. Tärkeä tekijä on yleensä ollut massatasapaino, jonka mukaisesti määräytyy tielinjan taso (korkeus) sekä poikkileikkauksen leveys ja kaltevuus. Tulevaisuudessa kiinnitetään enemmän huomiota massatasapainon ja maisemallisten tekijöiden yhteensovittamiseen. Tielaitoksella on tekeillä (vuonna 1994) tutkimus tien sovittamisesta maisemaan.

Tien pääsuunnittelija vastaa suunnittelusta ja erityistapauksissa hän käyttää asiantuntijoiden apua. Suunnittelijan tulee neuvotella kallioleikkauksesta geologin tai geoteknikon kanssa, joka on tehnyt kohteen kalliotutkimukset tai osaa tulkita saatavilla olevia tutkimustuloksia. Maisemasuunnittelijaa ja geologiaa tulee käyttää kallioleikkauksen muotoilua suunniteltaessa.

Geologi tekee kalliolaatututkimukset ja tulkitsee ne. Tutkimuksia voidaan tehdä kussakin suunnitteluvaiheessa. Geologi voi kallion ominaisuuksien pohjalta antaa ehdotuksensa kallioleikkauskohteen muotoilusta ja louhinnasta. Geologista asiantuntemusta tulisi hyödyntää erityisesti vaativissa kohteissa ja louhittaessa kalliota geologisten ominaisuuksien mukaisesti.

Maisemasuunnittelija voi antaa ohjeita tien kallioleikkausten yleisilmeestä tai yksittäiskohteen muotoilusta.

Tiensuunnittelussa on paneuduttava kallioleikkausten geometrian suunnitteluun, laadunvarmistukseen, massatasapainoon sekä maisema- ja taloudellisuuskysymyksiin. Nämä edellyttävät kohteena olevan kallion tarkkaa tutkimista.

3.2 Kallion laatututkimukset

Kalliorakennuskohteen puutteellinen tutkiminen voi aiheuttaa virhearviointeja ja lisäkustannuksia suunnittelu- ja rakennusvaiheessa. Kallioleikkauksen suunnittelun kannalta on tärkeintä tietää kallion rakenne ja kestävyys. Hyvän lopputuloksen aikaansaamiseksi olisi alueen geologian tutkimiseen panostettava. Tutkimukset tarkentuvat tiensuunnittelun vaiheiden mukaisesti.

Kallioleikkausten ja kiviainesten ottopaikkoiksi suunniteltujen alueiden geologisesta tutkimisesta on tielaitos julkaissut ohjeen Kallion laatututkimukset tien suunnittelutöissä [18].

3.2.1 Tutkittavat ominaisuudet

Kallionlaatututkimusten laajuus on riippuvainen suunnittelukohteelta vaadittavasta laadusta sekä suunnitteluun, tutkimukseen ja toteutukseen varatuista resursseista. Oleellista on paikallistaa kallion heikkouskohdat. Laatututkimuksissa käytetään pohjana rakennusgeologista kallioluokitusta. Kalliolaatu määritellään kallion rakenteellisen kiinteyden, rakennetyypin ja rakoilun tiheyden mukaisesti. Kivilaadun osalta tärkeimpiä ovat kiven rapautumisaste ja osasten järjestytyneisyys.

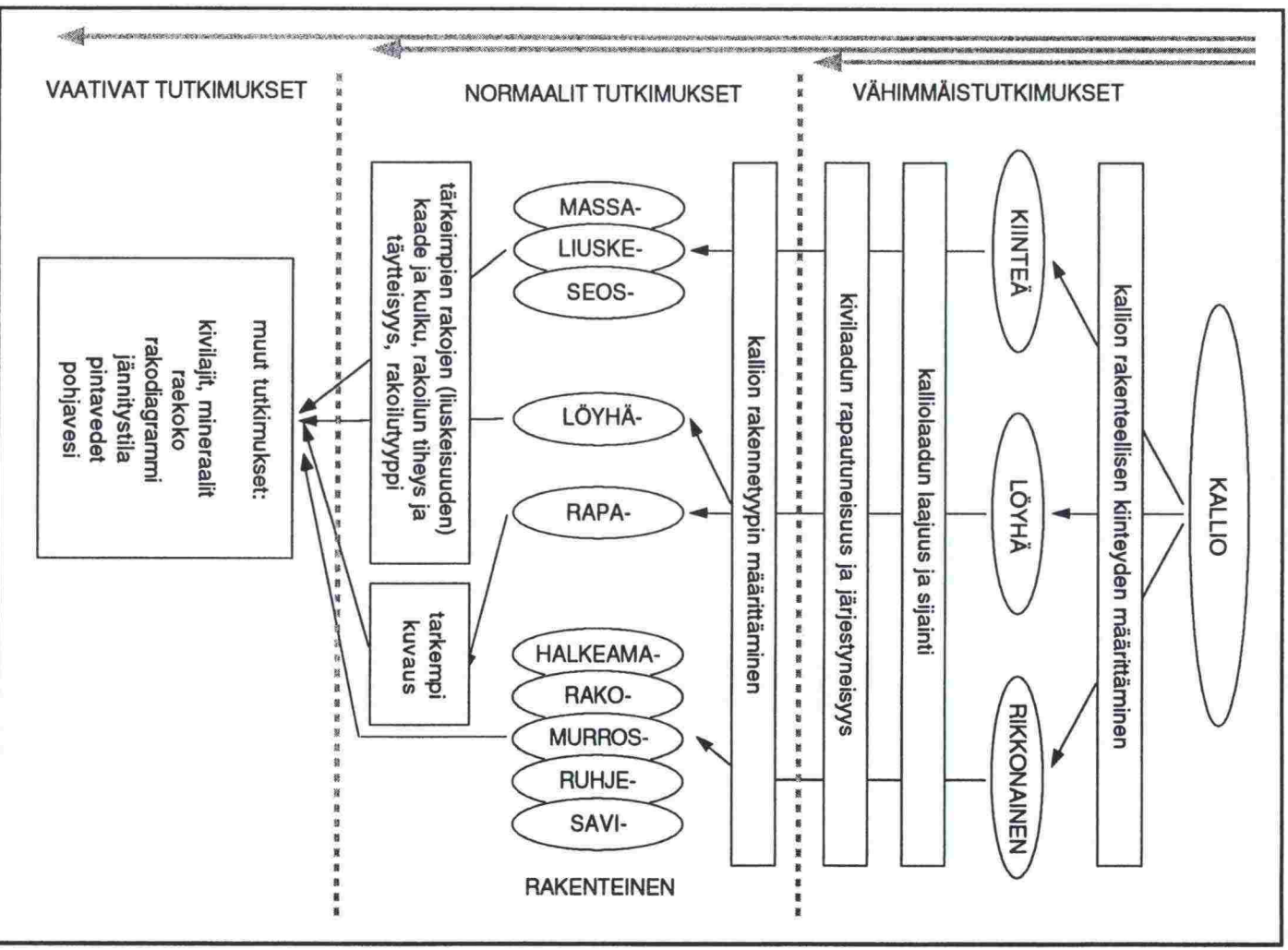
Tutkimusten laajuus voidaan jakaa kolmeen luokkaan: vähimmäistutkimukset, normaalit tutkimukset ja tutkimukset vaativassa kohteessa.

Vähimmäisvaatimuksena voidaan pitää niiden kallion geologisten piirteiden tutkimista, jotka voidaan selvittää muiden tutkimusten, kuten kalliopinnan topografian määrittämisen, yhteydessä. Tällöin selvitetään kallion rakenteellinen kiinteyden, kivilaadun rapautumisaste ja järjestytyneisyys, sekä laajuus ja sijainti. Tutkimukset voidaan pitää niukkoina, jos kallioleikkauksen kohde on merkitykseltään vähäinen.

Normaalissa tutkimuksissa määrätään kallion rakenteellinen kiinteyden (kiinteä, löyhä tai rikkonainen), kunkin laatualueen laajuus ja sijainti, kiinteän ja löyhän kallion rakennetyyppi (kiinteällä kalliolle massa-, liuske- tai seosrakenteinen ja löyhällä kalliolle löyhä- ja raparakenteinen), kivilaadun rapautumisaste ja järjestytyneisyys sekä tärkeimpien rakojen asema, täyteisyys ja esiintymistiheys.

Vaativissa kallioleikkauksenkohteissa tehdään laajempia tutkimuksia ja selvityksiä. Näihin kuuluvat normaalien tutkimuksien lisäksi kallion kivilaadun tarkempi määrittäminen, kivilajien ja mineraalien määrittäminen, rakodiagrammin teko, jännitystilan mittaaminen sekä pohja- ja pintavesien virtauksen tutkiminen.

Kuvassa 11 on esitetty vuokaaviona kallion laatututkimusten laajuus ja tutkittavat ominaisuudet.



Kuva 11. Rakennusgeologisen kallioliukuituksen mukaiset kalliotutkimukset kallioliikkaukskohteessa. Tutkimukset etenevät ylhäältä alaspäin. Laatikot ovat tutkittavia ominaisuuksia, solkiot kalliolaatuoluokkia.

Kalliolaadun vaikutusta kallioliikkauksen toteutukseen käsitellään kohdassa 3.3.

3.2.2 Tutkimusten ajoitus ja menetelmät

Kallion laatututkimusten laajuudesta riippuen tehdään erilaisia tutkimuksia kussakin tiensuunnittelun vaiheessa. Rakennuskohteen mukaan voidaan valita joku seuraavista etenemistavoista:

1) Kohdealue tutkitaan tarkasti ja laajalta alalta jo varhaisessa suunnitteluvaiheessa. Riskinä on epävarmuus tien linjauksesta tai toteuttamisesta, jolloin osa tutkimuksista on tarpeettomia.

2) Kohdealue tutkitaan ensin karkeasti ja tutkimuksia tarkennetaan myöhemmin. Haittana on virhemahdollisuus karkealla tutkimisella ja osittain toistuvat tutkimukset jäljemässä vaiheessa.

3) Kohdealue tutkitaan tarkasti vasta rakennussuunnitelmavaiheessa. Tällöin tarvitaan normaalia laajempi tiealuevaraus. Etuna on, että tutkimukset voidaan rajata tarkalle alueelle. Haittana on, ettei geologisia ominaisuuksia ehditä täysin hyödyntää suunnittelussa.

Taulukossa 5 on esitetty kalliotutkimusmenetelmät eri suunnitteluvaiheissa.

Esisuunnitteluvaiheessa tehdään alustava geologinen selvitys. Lähtöaineistona on ensisijaisesti aikaisemmin tehtyjen tutkimusten tulokset, kartta-aineisto (1:5000...1:100 000), kalliooperäkartat, aerogeofysikaaliset kartat ja ilmakuvat.

Yleissuunnitteluvaiheessa tehdään alueen geologinen kartoitus (kalliopinnan sijainti sekä kalliolaatu, rikkonaisuus ja kivilajit). Saatujen tulosten mukaan voidaan vielä vaikuttaa tien linjauksiin ja tasauksiin. Tässä suunnitteluvaiheessa selvitetään mm. tiehankkeen kokonaismassataloutta ja kokonaiskustannuksia, joihin kiviaineksen saatavuus osaltaan vaikuttaa.

Tie- ja rakennussuunnitteluvaiheessa aiempia tutkimuksia tarkennetaan ja tehdään rakennussuunnitelmiin liittyvät kiviaineksen yksityiskohtaiset selvitykset. Rakennusvaiheessa louhintaa voidaan ohjata kallion ominaisuuksia hyväksikäyttäen.

Taulukko 5. kallioleikkauksia koskevat tutkimusmenetelmät tiensuunnittelun vaiheissa. Välttämätön +++, tarvittaessa ++, erikoistapauksessa +, suositeltavat vähimmäistutkimukset varjostettuna [15].

		SUUNNITTELUVAIHE				
		TUTKIMUS-MENETELMÄ	Esi-suunnitelma	Yleis-suunnitelma	Tie-suunnitelma	Raken-nussuunnitelma
ALUSTAVAT GEOLOGISET SELVITYKSET	aiemman tutkimus-aineiston analysointi, kartta- ja ilmakuvatulkinta	++	+++			
	alustava geologinen maastotarkastelu	++	+++			
KENTTÄ-TUTKIMUKSET	maastomittaus ja kartoitus		++	++		
	rakennusgeologinen kartoitus		+++	+		+
	geofysikaaliset tutkimukset		++	++		
	porakone- ja kallionäytekairaus		++	++	++	
LABORATORIO-TUTKIMUKSET	kiviaineksen lujuustutkimukset	+	++	+++	++	+

3.2.3 Tutkimustulosten esittäminen

Tulostus on oleellinen osa jokaista tutkimusvaihetta. Tehtyjen tutkimusten perusteella laaditaan tutkimusselostus ja kallioperälausunto. Niiden laadinnassa noudatetaan rakennusgeologista kallioluokitusta. Liitteessä 1 on yleissuunnitteluvaiheeseen kuuluva mallitulostus tieleikkauskohteesta.

Kalliolaatuosueet ja varsinkin heikkousvyöhykkeet kuvataan sanallisesti tai piirroksin ja kartalla tutkimusaineiston ja työvaiheiden edellyttämällä tarkkuudella. Tulosteesta tulee käydä ilmi kalliolaatu ja kivilaatu alueiden sijainti ja rajat sekä tärkeimpien rakojen sijainti ja asema.

Taulukkoon 6 on kerätty esitettävät tutkimustulokset eri tiensuunnitteluvaiheissa.

Taulukko 6. Tutkimustulokset eri suunnitteluvaiheissa (vaativissa kohteissa, ** irrotetun kiven käyttöä varten).*

Esisuunnitelma	Yleisuunnitelma	Tiesuunnitelma
tutkimuskohteen yleiskartta 1:10000 ... 1:20000 raportointilomake	geologinen kallioperä- lausunto, joka sisältää: - kalliolaatututkimukset - rakoilututkimukset - geologinen kallioperäkartta 1:500 ... 1:2000	geologisen kallioperä lausun- non täydennys, joka sisältää: - kallionäyteprofiilit * - kallionäytevalokuvat * - muut tutkimustulokset * - mikroskooppisen tutkimuksen tulokset **
kiviaineksen lujuus- tutkimusten tulokset **	kiviaineksen lujuus- tutkimusten tulokset ja alustava lausunto sen käyttökelpoisuudesta **	kiviaineksen lujuus- tutkimusten tulokset **

3.3 Geologisten piirteiden vaikutukset suunnitelmaan

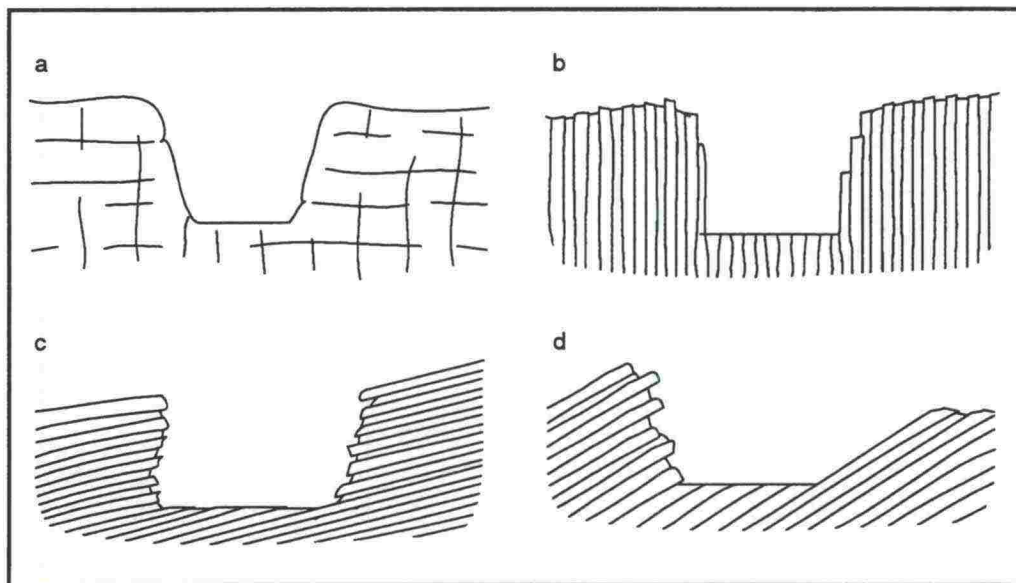
Kalliolaatu vaikuttaa merkittävästi louhintaan, louhintamenetelmään, poikkeileikkauksen geometriaan ja jälkihoitoon.

3.3.1 Kiinteä kallio

Rakenteellisesti kiinteä kallio soveltuu hyvin kalliorakentamiseen. Paras louhintajälki saavutetaan massamaisessa tai heikosti liuskeisessa kalliossa, joka on harva- tai vähärakoista ja rapautumatonta. Mitä enemmän kallio on liuskeista, rakoillutta tai rapautunutta, sitä vaikeampaa on tasaisen ja vakaan louhintajäljen aikaansaaminen [11].

Liuskeisessa tai rakoilleessa kalliossa silein louhintajälki syntyy liuskeisuuden tai päärakoilun suunnassa. Normaalilla tai harvalla porauksella syntyy liuskeisuutta tai tiheää rakoilua jyrkästi leikkaaville pinnoille epätasainen pinta. Epätasaisin pinta syntyy kun tiheän rakoilun suuntaa leikataan $20^\circ \dots 30^\circ$:n kulmassa varsinkin tilanteessa, jossa rakoilun (tai liuskeisuuden) kaade on leikkauksesta poispäin [11] (kuva 12 d). Tiheällä porauksella on kuitenkin yleensä saatavissa sileä louhintajälki. Vaakarakoilu ei merkittävästi huononna louhinnan onnistumista.

Louhintapintojen pysyvyyteen vaikuttaa ratkaisevasti rakoilun suunta ja avonaisuus. Kun leikkausten seinämä leikkaa voimakasta rakosuuntaa pituus- tai pystysuunnassa loivasti tai on sen suuntainen, on varauduttava ryöstäytymiin. Seinämät on pyrittävä luiskaamaan liuskeisuuden tai vallitsevan rakoilun kaateen mukaan. Mikäli tämä ei ole mahdollista, tulee kallioleikkaus pyrkiä loiventamaan esimerkiksi porrastettua louhintatapaa käyttäen [11].



Kuva 12. Liuskeisuuden ja rakoilun vaikutus louhintajälkeen ja pysyvyyteen. a) massamainen, harvarakoinen kivilaatu, b) pystyasentoinen liuskeisuus ja tiheä rakoilu, c) loiva asentoinen liuskeisuus ja tiheä rakoilu sekä d) vinoasentoinen liuskeisuus tai tiheä rakoilu [11].

3.3.2 Rikkonainen ja löyhä kallio

Rakenteellisesti löyhä tai rikkonainen kallio on ongelmallinen kalliorakenteille. Rikkonaisen alueen laajuudesta ja tiealueen leveydestä riippuen louhitaan kallioleikkaus loivaksi tai suunnitellaan vahvistustoimenpiteitä.

Kunnossapitoa ajatellen on löyhän tai rikkonaisen kallio-osan louhiminen loivaksi yleensä paras vaihtoehto. Hyvin rikkonainen kiviaines voidaan muotoilla maaluiskan tavoin ja verhoilla maa-aineksilla. Rikkonainen tai löyhä kallio-osa louhitaan yleensä tavallisen pengerlouhinnan yhteydessä, mutta parhaaseen lopputulokseen päästään raonräjäytyksellä tai jälkilouhinnalla. Eräissä tapauksissa voidaan loiventamista tehdä myös kalliota rusnattaessa.

Rikkonainen tai löyhä kallioleikkaus voidaan lujittaa ruiskubetonoinnilla tai injektoimalla. Pultitus ja ankkurointi eivät yleensä ole mahdollisia. Irtokiviä voidaan sitoa verkotuksella, maaluiskilla ja suoja-aidoilla.

Tektonisesti rikkonaisen kallion kiviaines saattaa toisinaan olla hyvälaatuista ja tierakenteisiin kelpaavaa. Rapautunut kiviaines on heikkolaatuista.

3.4 Louhintamenetelmät

3.4.1 Tavalliset menetelmät

Kallioleikkaukset louhitaan tavallisesti pengperlouhintana ja erityiskohteissa tarkkuuslouhintana. Käytettävään menetelmään vaikuttavat suunnitelmassa esitetyt tavoitteet, ympäristötekijät, kallion laatu, rakoilu, leikkauksen leveys ja korkeus sekä kalliopinnan topografia [19].

Pengperlouhinta on tavallisimmin käytetty louhintamenetelmä kallioleikkauksia toteutettaessa. Louhittava kallioalue jaetaan sopivan kokoisiin ja muotoisiin kenttiin, jotka porataan, panostetaan ja irrotetaan. Porareikiä kallistetaan 10° ... 20° taaksepäin kuormauksen ja pohjan irtoamisen helpottamiseksi. Porareian halkaisija on yleensä 40 ... 75 mm leikkauksen korkeudesta ja kalustosta riippuen. Edulle V (reikärivien väli irtoamissuunnassa) ja reikävälille E (reikien välimatka reikärivissä) annetaan seuraavat ohjeavot:

$$V \leq 40 d \quad (d \text{ on reiän halkaisija}) \quad (1)$$

$$E = 1,1 \dots 1,3 V \quad (2)$$

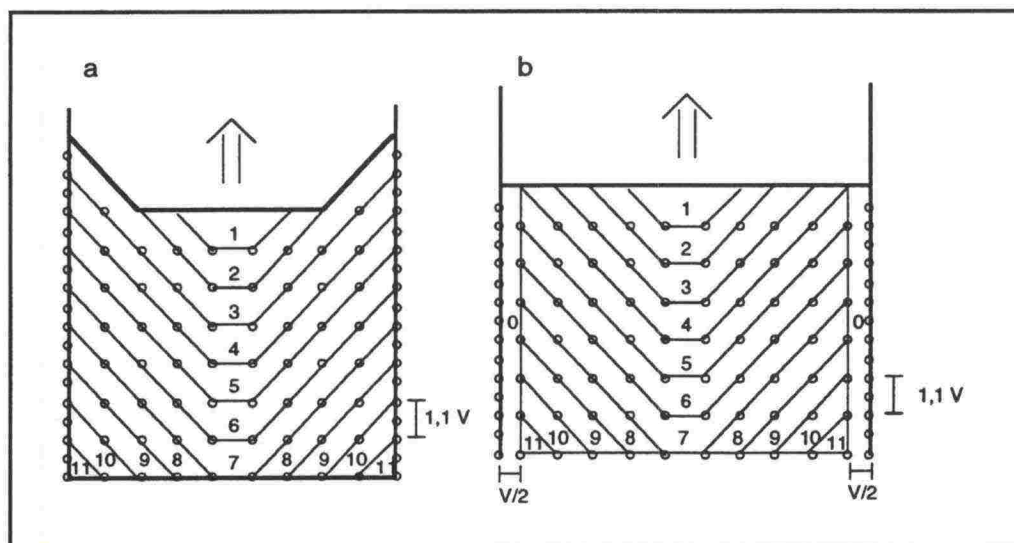
Ominaispanostus riippuu leikkauksen korkeudesta edusta ja porareian halkaisijasta. Yleisesti käytetylle 64 mm porarei'ille, 2,9 m edulle ja yli 5 m leikkauskorkeudelle on ominaispanostus 2,0 kg/m.

Tarkkuuslouhinnalla on varovaista ja jäljellejäävää kalliota säästävää louhintaa, jolla pyritään pienempään kuin 300 mm poikkeamaan teorettisista louhintapinnoista. Tarkkuuslouhintaan kuuluu myös kivi- ja kalliolaadun huomiointi louhintaa suunniteltaessa ja tehtäessä. Verrattuna normaaliin pengperlouhintaan on tarkkuuslouhinnassa viimeisen rakolinjan reikäväliä tiennetty, porareian halkaisijaa pienennetty ja ominaispanostusta kevennety.

Tarkkuuslouhinnan menetelmiä ovat irrotuslouhinta-jälkilouhinta (kuva 13a) ja raonräjäytys-irrotuslouhinta (kuva 13b). Ensinmainitussa menetelmässä louhitaan päämassojen irrotuksen jälkeen uloin vyöhyke ja jäljennässä menetelmässä räjäytetään kallioon rako halutun kallioseinämän kohdalle ennen kalliomassan irrotusta [16]. Jälkilouhinta soveltuu kaikille kalliolaaduille. Raonräjäytystä käytetään lähinnä kiinteisiin, harva- tai vähärakoiseen kallioon. Raonräjäytystä ja jälkilouhintaa voidaan soveltaa myös tavallisessa pengperlouhinnassa.

Tarkkuuslouhinnan viimeisen rakolinjan etu on 0,5 ... 1,3 m, porareian halkaisija on 25 ... 63 mm ja ominaispanostus 0,1 ... 0,4 kg/m. Etu, reikäväli, porareian halkaisija ja ominaispanostus vaikuttavat suoraan toisiinsa.

Silolouhinnaksi nimitetään louhintaa, jonka tärkeimpänä tavoitteena on tasainen louhintajälki.



Kuva 13. Tarkkuslouhinnan sytytys- ja porausjärjestelmiä päältäpäin kuvattuna. Aurasmenetelmässä (a) irrotetaan reunat jälkikäteen tarkkuslouhintana. Aurakiilamenetelmässä (b) reunareivät räjäytetään raonräjäytyksenä kentän räjäytyksen yhteydessä. Nuolella on merkitty irtoamissuunta, numerot tarkoittavat sytytysjärjestystä ja V on etu.

3.4.2 Erikoismenetelmät

Kallioleikkausten rakentamisessa voitaisiin pienialaisissa erityiskohteissa hyödyntää rakennuskiviteollisuuden kokemuksia erilaisista kiven irroitusmenetelmistä. Louhimoilla käytetään yleensä luonnollista rakoilua (vaaka- ja pystylustat) tai rako tehdään polttamalla, sahaamalla tai porauksen avulla. Rako kiilataan auki. Menetelmät eivät riko kiveä kovin laajalta ja työn jälki on tasaista.

Vaijerisahaus tarkoittaa kallion sahaamista vaijerilla, johon on kiinnitetty timanttiteriä. Vaijerisahauksen kustannukset ovat yhä varsin korkeat viime vuosien teknisestä kehityksestä huolimatta. Vaijerisahaus ei yleensä vähennä normaalin pengerlouhinnan määrää, joten vaijerisahauksen ja hionnan kustannukset ovat ylimääräinen menoerä. Massamaisilla ja ehjillä kallio-laaduilla työn jälki on hyvin sileää ja suoraa, mutta rikkonaiset kohdat vaativat toimenpiteitä. Haluttaessa leikkauspintaa voidaan muotoilla. Leikkauksen väri muuttuu hyvin edustavaksi pinnan kastuessa.

Erityiskohteissa voidaan tehdä viimeistelytoimenpiteitä, joilla louhintajälki häivytetään. Kalliopinta saadaan hilseilleen näköiseksi kuumentamalla kallio-pinta (esimerkiksi liekillä) ja jäähdytettämällä nopeasti vedellä. Iskuvasaralla (rusnaamalla) saadaan revitynnäköinen kallio-pinta.

3.4.3 Leikkauspinnan pysyvyys ja tasaisuus

Tasainen leikkauspinta onnistuu parhaiten kun louhittavan kallion kalliolaatu on kiinteää ja ehjää. Louhinta tehdään tarkkuuslouhintana tiheällä reikäväliä ja pienellä ominaispanostuksella.

Kevyt ominaispanostus edellyttää tiheää reikäväliä. Tiheällä porauksella saadaan kiinteillä ja harva- tai vähärakoisilla silein louhintajälki. Leikkaussuuntaan nähden vino rakosuunta ja tiheä rakoilu tekevät louhintajäljestä epätasaisen.

Ominaispanostuksella on todettu olevan huomattava merkitys kalliopinnan rakoiluun [20]. Tutkimuksen mukaan voi rikkoutumisvaikutus olla parhaimmillaan vain parin senttimetrin luokkaa (K-17) ja pahimmillaan syntyy useiden kymmenien senttimetrien mittaisia yksittäisiä rakoja sekä runsaasti rakoillutta aluetta 10...20 cm etäisyydelle porareiästä. Myös porareiässä oleva vesi ja tulilangan käyttö lisäävät räjäytyksen rikkomisvaikutusta.

3.4.4 Tunneli

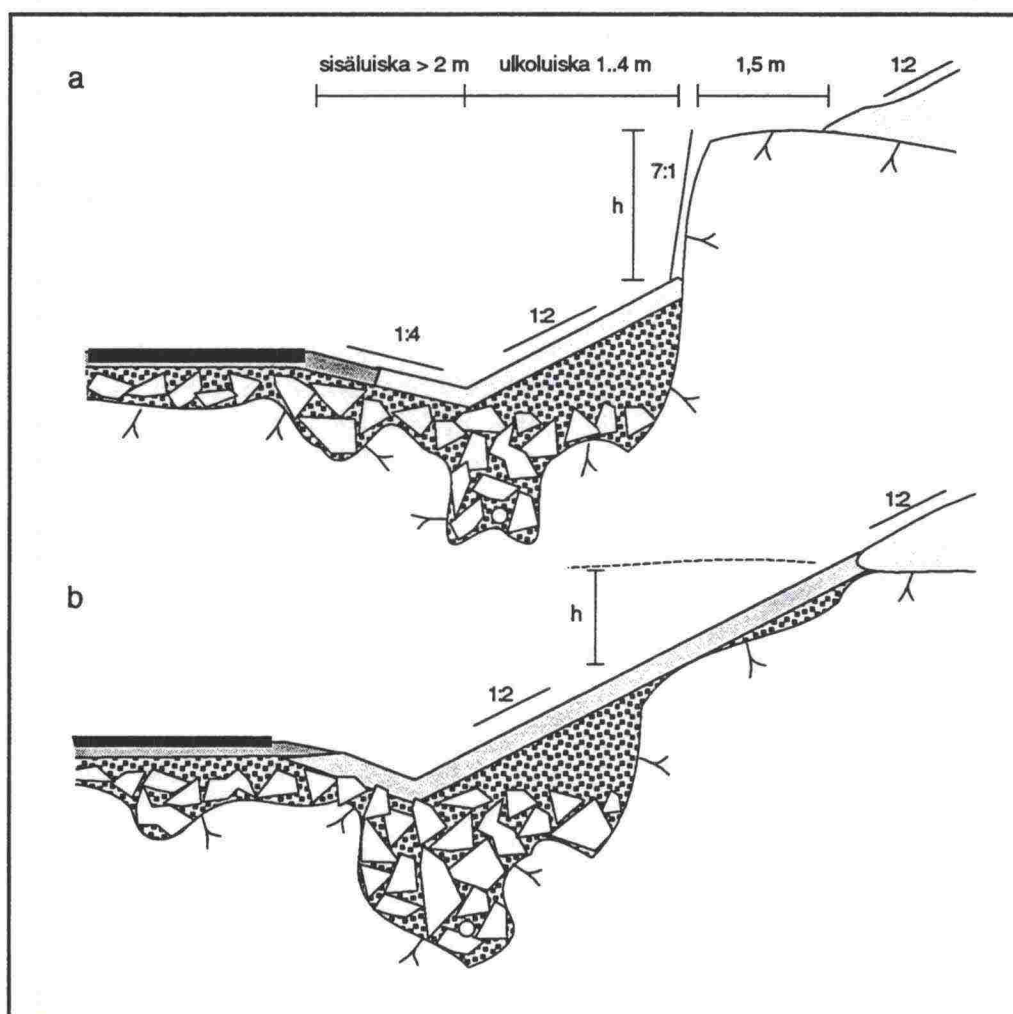
Tunneli on varteen otettava mahdollinen ratkaisu silloin, kun tie joudutaan louhimaan huomattavasti kalliopintaa syvemmälle. Tunnelia voivat puoltaa muun muassa maisemalliset, taloudelliset ja ekologiset seikat. Korkeissa kallioleikkauksissa on usein vaikea saavuttaa maisemallisesti onnistunutta lopputulosta. Tunnelin tekemistä voidaan ajatella kuitenkin vain yli 20 m korkeiden kallioleikkausten kohdalla, sillä tunnelin yläpuolelle on jäätävä vähintään 6 ... 10 m vahvuinen kalliokatto. Tunnelin ja kallioleikkauksen louhintakustannukset ovat yleensä samaa suuruusluokkaa. Tunnelivaihtoehto ei yleensä aiheuta muutoksia yläpuoliseen ympäristöön; kasvillisuus säilyy ennallaan ja eläinten (ja ihmisten) kulkureitit eivät muutu.

3.5 Kallioleikkauksen geometria

3.5.1 Poikkileikkauksen geometria

Kalliorakenteiden suunnittelussa ja toteutuksessa noudatetaan Tielaitoksen julkaisua Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset: Kalliorakenteet [21]. Kallioleikkauksella tarkoitetaan tällöin teoreettiselta pohjan leveydeltään yli kolmen metrin levyistä leikkausta.

Mikäli suunnitelmassa ei toisin ole määrätty noudatetaan kuvan 14 mukaisia mitoituksia jyrkälle ja loivalle kallioleikkaukselle. Mitoitus jyrkäksi kallioleikkaukseksi sopii kiinteille ja harva- tai vähärakoisille kalliolaaduille.



Kuva 14. Kallioleikkaukset: a) jyrkkäluiskainen ja b) loivaluiskainen [21].

Suurin osa kallioleikkauksista louhitaan jyrkkäluiskaisiksi. Luiskan kaltevuus on tällöin 7:1. Sisäluiska on leveydeltään yli 2 m ja kaltevuudeltaan 1:4.

Ulkoluiska on leveydeltään vähintään 2 m (moottoriteillä vähintään 3 m) ja kaltevuudeltaan 1:2. Leikkauksen yläpuolelle paljastetaan kalliota noin 1,5 m leveydeltä ja sitä seuraava maaluiska on kaltevuudeltaan 1:2.

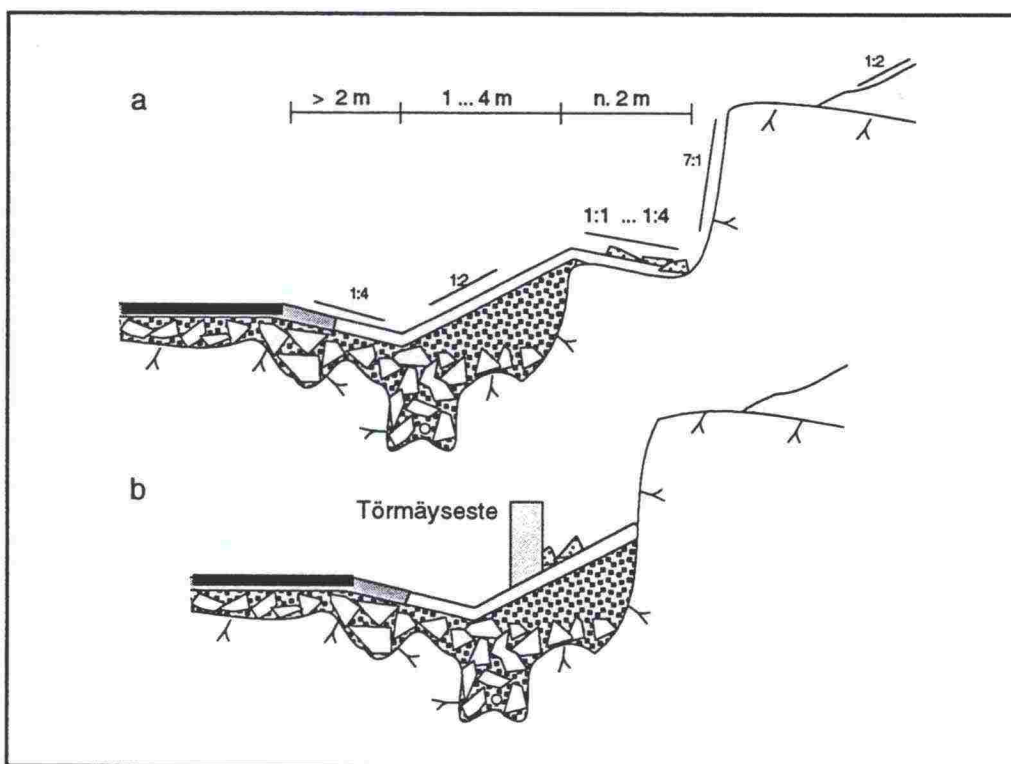
Kallioleikkaus louhitaan loivaksi (esimerkiksi 1:2), jos leikkaus on pieni tai pitkä ja matala (esimerkiksi yli 40 m pitkä ja alle 1,5 m korkea). Korkean kallioleikkauksen päässä oleva lyhyt ja matala osa louhitaan yleensä jyrkäksi, mutta ulkoluiska levennetään.

Loivaluiskainen kallioleikkaus louhitaan niin, että sisäluiska on leveydeltään yli 2 m ja kaltevuudeltaan 1:4. Ulkoluiskan kaltevuus on 1:2 ja jatkuu maaston mukaisesti. Lohkareita ei saa jäädä 0,2 m lähemmäksi verhoilun pintaa.

Leikkausten yläosa kuivatetaan niskaojien avulla, koska kalliolla virtaava vesi ja sen jäätyminen ja sulaminen edesauttavat kiven rikkoutumista. Toisaalta hallittu vesivirta voi olla toivottu maisemaelementti.

Tehtäessä kallioleikkausta rikkonaiseen kallioon voidaan leikkausprofiilia loiventaa tai avartaa. Tippuville kiville voidaan varata noin 2 m leveä tasanne tai kallioleikkausta kohti kalteva taso ulkoluiskan jatkeeksi (kuva 15 a). Tasanne antaa myös lisää tilaa auraus lumelle.

Kallioleikkauksen eteen, yleensä ulkoluiskaan, voidaan rakentaa törmäys-suoja, joka parantaa liikenneturvallisuutta (kuva 15 b).



Kuva 15. Kallioleikkaus a) rikkonaisessa kalliossa ja b) törmäyseste.

3.5.2 Pituussuuntainen geometria

Pituussuuntaisesti kallioleikkaus louhitaan pääsääntöisesti tielinjan suuntaiseksi. Tienlinjaukseen sijoitetaan yleensä loiva kaarre kallioleikkauksen kohdalle, jolloin näkymä pysyy ehjänä. Kaarteen vaakasäteen suhde pystysäteeseen on 5:1.

Leikkauksen päitä avarretaan maisemaan ja mahdolliseen maaluiskaan sujuvasti yhtyväksi. Päiden avarruksesta on hyötyä myös lumen kinostuksen yhteydessä. Siirryttäessä jyrkästä kallioleikkauksesta loivaan kallioleikkauksen kaltevuus muuttuu yleensä 7:1:stä 1:2:een suoraviivaisesti 20 metrin matkalla.

3.5.3 Turvallisuus

Luiskat

Kallioleikkauksen ja tien välissä olevat sisä- ja ulkoluiska ohjaavat tieltä suistunutta autoa niin, ettei se törmää suoraan kallioon. Kallioleikkauksen etäisyys on maanteillä vähintään viisi metriä tien reunasta ja moottoriteillä vähintään kuusi metriä. Ulkoluiska ulottuu noin metrin tienpinnan tason yläpuolelle.

Kaide

Tien viereen rakennetaan kaide, jos tiekohdalla on olemassa suistumisonnettomuuden vaara. Kaide estää suistumista ja kallioon törmäämistä. Kaide estää myös kallioleikkauksesta irronneiden kivien pyörimisen tielle. Kaiteen tarpeellisuus arvioidaan tapauskohtaisesti.

Suoja-aita

Kallioleikkauksen kohdalle on rakennettava suoja-aita (rikoslaki 44 luku 11§), mikäli on olemassa ihmisen tai eläimen putoamisvaara. Aidan rakentamisesta päätettäessä otetaan huomioon ympäristössä liikkuvien ihmisten määrä, kallioleikkauksen korkeus ja ympäröivän maaston muoto. Näistä tekijöistä on ensinmainittu yleensä ratkaisevin. Yläpuolisen maasto on epäedullinen, jos kallioleikkausta on vaikea maastosta havaita tai se yllättää maastossa kulijan. Ympäröivä maasto on edullinen, jos kallioleikkauksen reunalle on vaikea päästä tai se on muuten helppo havaita [22].

Taulukko 7. Suoja-aidan tarpeellisuus. Suoja-aitaa vaativan jyrkänteen korkeus riippuen maastossa liikkuvien ihmisten määrästä ja yläpuolisen maaston muotoon [22].

Maastossa liikkuu ihmisiä	Yläpuolisen maaston muoto		
	epäedullinen	normaali	edullinen
runsaasti	2 m	2 m	4 m
lähes päivittäin	2 m	4 m	ei aitaa
harvoin	4 m	ei aitaa	ei aitaa

Aita rakennetaan työturvallisuus syistä vähintään 1,5 metrin etäisyydelle kallioleikkauksen reunasta. Vaikeat maastokohdat kierretään tarvittaessa. Aidan päät käännetään jyrkänteen reunaan niin, ettei aidan jyrkänteen väliin ole helppo päästä. Aitaa ei katkaista keskeltä, vaikka osa kallioleikkauksesta ei olisikaan vaadittavan korkuinen [22].

Aitatyypin valitaan tarkoituksen mukaan. Suoja-aidaksi, joka estää ihmisiä huomaamattaan joutumasta jyrkänteelle, voidaan rakentaa verkko-, puu-, lanka- tai vaijeriaita. Aidan korkeus on tavallisesti 1,2 m. Moottoriteillä ja paikoissa, missä aidan ylittäminen halutaan estää, rakennetaan vähintään 1,4 m korkea verkkoaita [22]. Kallioleikkauksen suoja-aita ja tieosalla mahdollisesti tarvittava hirviaita tulee sovittaa yhteen tyyliltään ja sijotukseltaan.

3.6 Kallioleikkauksen sovittaminen maisemaan

3.6.1 Kallioleikkaus maisemassa

Maisemalla tarkoitetaan yleensä ympäristökokonaisuutta, johon kuuluvat luonnonelementit, kulttuurielementit ja ympäristön rakennetut osat. Maisemarakenteen muodostavat tietyn alueen maa- ja kallioperä, ilmasto ja vesiolosuhteet, kasvillisuus ja eläimistö sekä kulttuurielementit [23].

Tienlinjauksessa pyritään noudattamaan kunkin maisemamaakunnan ominaispiirteitä. Tien ja maisemarakenteen vuorovaikutus on kaksisuuntaista. Maiseman ominaisuudet, kuten topografia ja asutus, määräävät tien sijainnin tai tie voi olla maisemaa hallitseva elementti. Suuri tie voi noudattaa maiseman yleistä rytmiä ja mittasuhteita, mutta maiseman pienipiirteiset ominaisuudet eivät vaikuta sen geometriaan. Maaston vaihteleva topografia aiheuttaa kallioleikkauksia ja maapenkereitä [23].

Kallioleikkauksella voi olla erilaisia maisemallisia arvoja. Kallioleikkaus voi toimia maisemassa ns. porttikohtana siirryttäessä maisematilasta toiseen [23]. Kallioleikkauksesta voidaan eräissä tapauksissa suunnitella maisemamonumentti, taideteos. Luonnonmukainen louhinta, tarkoittaen rakoilun tai liuskeisuuden mukaista louhintaa, parantaa kallioleikkauksen maisemaan istuvuutta. Eräissä tapauksissa myös tiensuunnasta poikkeava kallioleikkaus voi olla maisemaa korostava.

Kallioleikkaukset suunnitellaan usein loivasti kaareviksi, jolloin näkymä lyhenee. Optisen ohjauksen ja maisemakuvan parantamiseksi on leikkauksen päiden kohdalle hyvä sijoittaa kaartteet. Pieniä ja matalia kallioleikkauksia tulee välttää. Usein pienet kallionokat kannattaa louhia kokonaan pois ja matalat voidaan naamioda maaluisiksi [23]. Kallioleikkaus tai maaluiska kannattaa sovittaa ympäröivien maastomuotojen mukaiseksi.

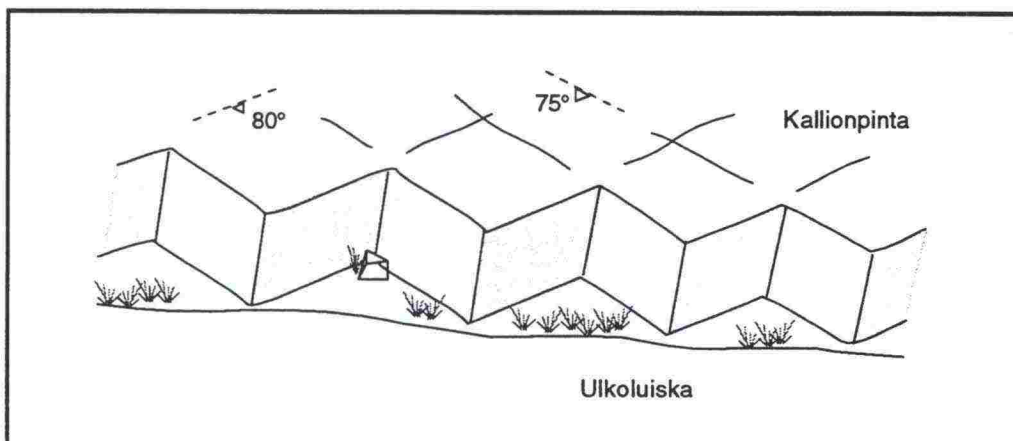
Viimeistelytyöt tehdään koko rakennusalueella. Kallioleikkauksen viimeistelyllä liitetään tie ympäröivään maisemaan ja peitetään louhinnasta aiheutuneita maisemavaurioita [23]. Vihertoimenpiteinä voidaan käyttää puu- ja pensasistutuksia ja nurmetusta. Suureksi kasvavia puita ei kuitenkaan tule sijoittaa tien läheisyyteen. Tiheäpuustoisella alueella leikkauksen yläpuolista puustoa harvennetaan metsänhoidollisista syistä ja samalla kallioleikkauksen terävyys tasoittuu.

Maisemaa mukaileva tielinjaus ja luonnonmukaisesti louhittu kallioleikkaus antavat useissa tapauksissa maisemallisesti onnistuneen lopputuloksen.

3.6.2 Kiven luontaisen irtoamistavan hyödyntäminen

Kiven luontaisen irtoamistavan hyödyntämisellä tarkoitetaan louhintatapaa ja -suunnitelmaa, jossa louhinta tapahtuu rakoilu- tai liuskeisuuspintojen mukaisesti tai muuten kiven luonnollista lohkeavuutta hyväksikäyttäen. Menetelmän etuja ovat lähinnä kallioleikkauksen 'luonnonmukaisuus' ja vakaus, mikä vaikuttaa mm. säästöihin kunnossapidossa. Kiven luontaisen irtoamistavan mukaisesti louhittu kallioleikkaus muistuttaa geologisten prosessien muovaamaa luontaista kalliojyrkännettä.

Louhintatapa on ohjattua irrotusta, jolloin tehdään tarkkuuslouhintaa kiven rakenteellisten ominaisuuksien mukaisesti. Louhinta voidaan tehdä polveilevasti samansuuntaisia lohkeamissuuntia hyväksikäyttäen. Kunkin polven pääty voidaan louhia haluttuun kohtaan tai mahdollisuuksien mukaan käytetään toista, päälohkeavuussuntaa risteävää, lohkeavuussuntaa.



Kuva 16. Rakoilun hyödyntäminen kallioleikkauksessa.

Luontaisen irtoamistavan hyödyntämisen edellytyksenä on, että rakennuskohteen kallio on kiinteää ja harva- tai vähärakoista, ja sillä on yhdenmukainen liuskeisuus- ja rakoilusuunta. Tiheärakoisessa tai sekarakoilleessa kalliossa on suurempi lohkaroitumisvaara. Rakojen laadu on oltava tiivis, sillä avoimessa raossa jäätyvä vesi ja täytteisen raon (yleensä savipitoinen) täyte heikentävät lohcareiden pysyvyyttä.

Lohkeavuuden mukaisesti louhittu kallioleikkaus on yleensä hyvin vakaa. Rakoilleessa kalliossa tulee kuitenkin tutkia, ettei leikkauksessa esiinny irtoavia lohkoja.

Luonnollisen irtoamistavan käytön kustannusvaikutus louhintavaiheessa on kaksijakoinen. Menetelmän käyttö tuottaa kustannussäästöä, kun rusnausta tai muita vahvistustoimia ei tarvita. Toisaalta tarkkuuslouhinta ja louhintatyön tavanomaista tarkempi ohjaaminen aiheuttaa lisäkustannuksia.

Tielinjansuunnasta poikkeavan kallioleikkauksen louhinta tapahtuu perusratkaisua suuremmalta alalta ja tilavuudelta. Rakentamisen massatasapainosta riippuen tämä voi olla kustannuslisä tai -etu.

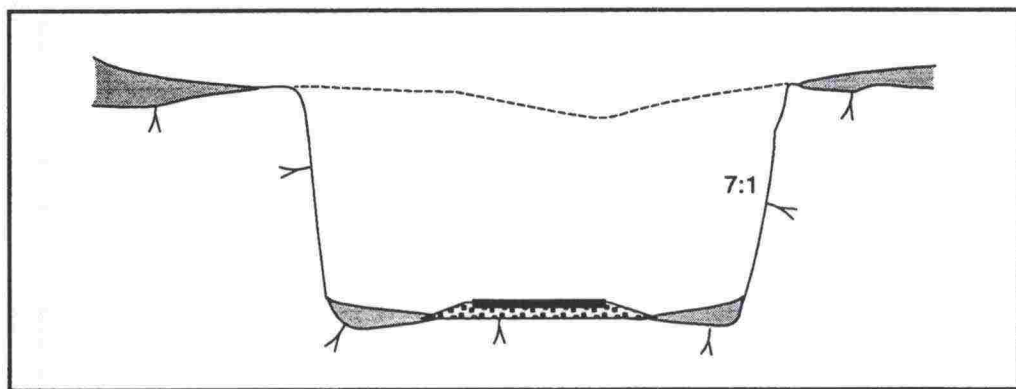
Luonnollisen lohkeavuuden mukaisesti louhitut kallioleikkaukset ovat kestäviä ja vakaita. Rakoilu- tai liuskeisuuspinta on perinteisellä tavalla louhittua (rikottua) pintaa kestävämpi rapautumista vastaan.

3.6.3 Erilaisia poikkileikkauksia

Seuraavassa esitettävät poikkileikkausvaihtoehdot on muokattu Ohjeita kallion ottopaikkojen ja tieleikkausten louhinnasta sekä maisemoinnista [11] perusteella

Yleinen tapaus

Useimmat poikkileikkaukset tehdään kuvan 17 mukaisesti. Kalliolaadun salliessa luiska tehdään kaltevuuteen 7:1. Luiskan kaltevuus pyritään asettamaan mahdollisimman edulliseen kulmaan kallion lohkeamissuunnan kanssa, ja jos mahdollista käytetään hyödyksi luonnollista rakoilua. Jyrkkäseinäisen tieleikkauksen luiskan kaltevuutta loivennetaan päitä kohden siten, että luiskat yhtyvät maakerrokseen [24].



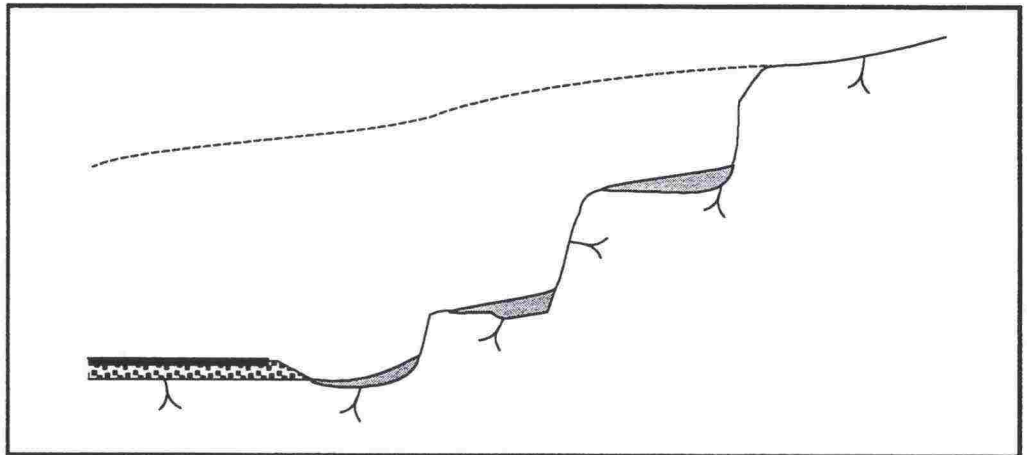
Kuva 17. Tien poikkileikkaus kallioleikkauksen kohdalta.

Loiva leikkausprofiili

Loiventamalla kallioleikkauksia parannetaan maisemakuvan ja leikkauksen pysyvyyden lisäksi myös näkyvyyttä ja liikenneturvallisuutta. Samalla estetään suistumisonnettomuuksia ja vähennetään kaiteiden tarvetta.

Porrastettu louhinta

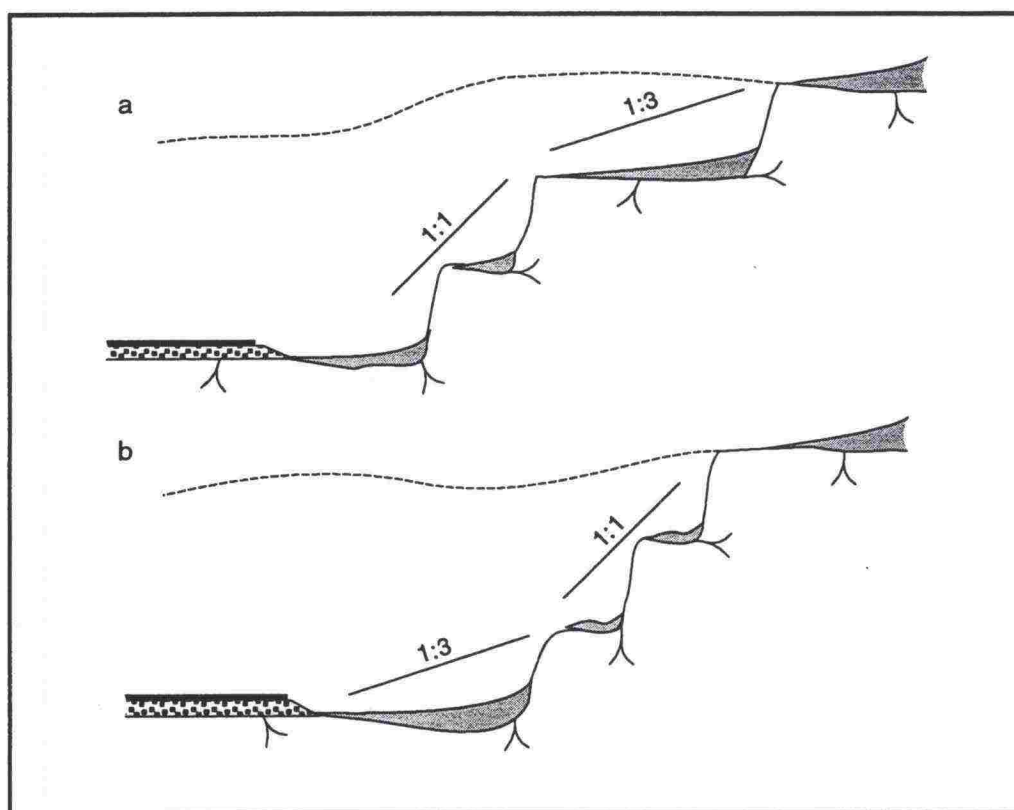
Korkeita kallioleikkauksia on mahdollista loiventaa porrastettua louhintaa käyttäen. Leikkauksessa käytettävä luiskakaltevuus riippuu mm. leikkaurintaman korkeudesta, alueen pintatopografiasta sekä käytettävissä olevan luiska-alueen leveydestä. Suotuisissa olosuhteissa voidaan leikkaukset loiventaa siten että luiskan kaltevuudeksi saadaan jälkihoitotoimenpitein 1:2 ... 1:3. Maisemoinnin ja työn teknisen toteutuksen kannalta suositeltavin porraskorkeus on tällöin noin 5 ... 7 metriä ja porrastleveytenä 2 ... 4 metriä. Normaalitytapauksissa joudutaan leikkaurintausta yleensä louhimaan edellä mainittua jyrkemmäksi [11].



Kuva 18. Porrastettu louhinta [11]

Taittuva luiska

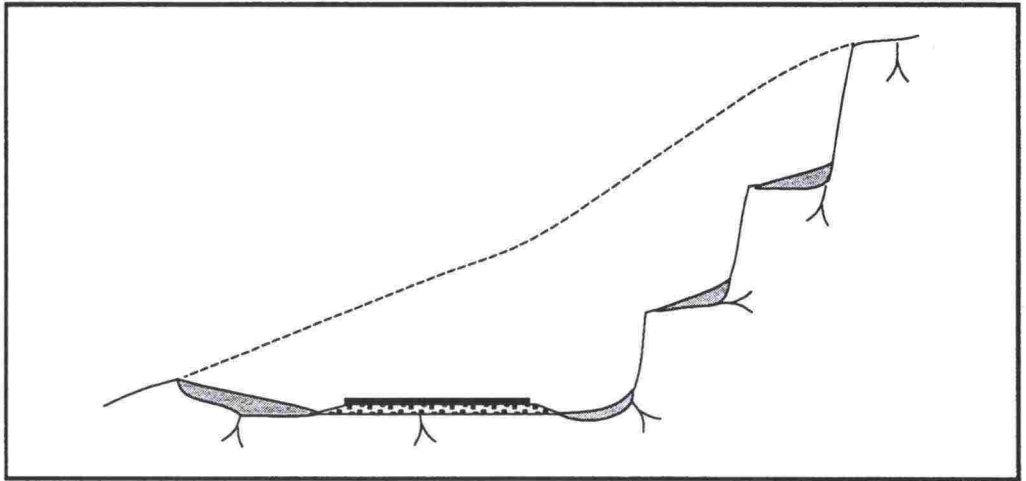
Maisemalle vieraita muotoja voidaan osittain pehmentää vaihtelemalla luiskankaltevuutta leikkauksen eri osissa. Käyttämällä jyrkempää kaltevuutta alhaalla ja loivempaa ylhäällä saadaan ylimmät rinteet häivytettyä näkyvistä ja leikkaus näyttää matalammalta (vaihtoehto a). Päinvastaisessa tapauksessa saadaan alemmat rinteet puuston avulla häivytettyä näkyvistä, mutta tieltä on näköyhteys ylimmille rinteille (vaihtoehto b). Louhintamäärältään 'a' tuottaa vähemmän leikkausmassoja kuin 'b' vaikka työn kustannuksissa ero on pieni.



Kuva 19. Taittuvaluiskainen kallioleikkaus [11].

Sivukalteva maasto

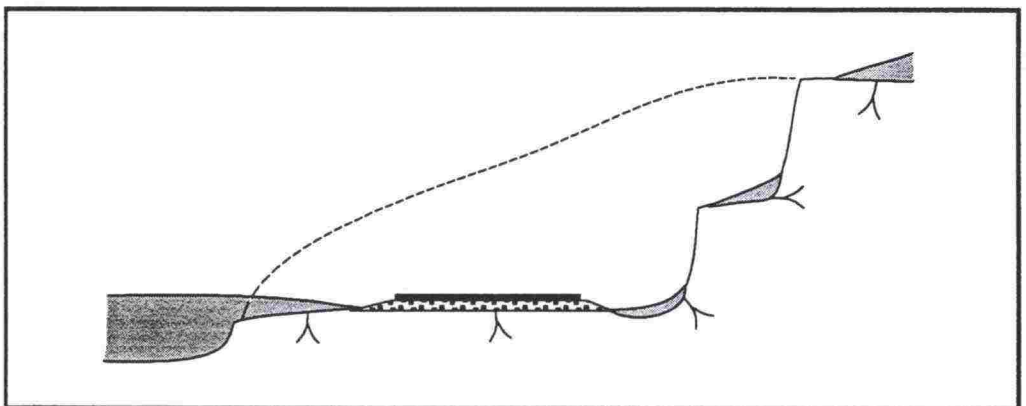
Voimakkaasti sivukaltevassa maastossa tulisi tieleikkauksen matalammalle puolelle jäävä alue louhia ylärinteen puoleista luiskaa loivemmaksi.



Kuva 20. Leikkaus sivukaltevassa maastossa [11].

Kallionosan poisto

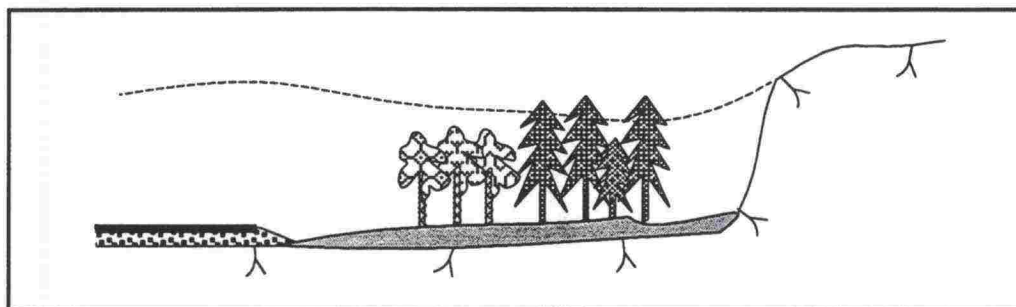
Louhittaessa tieleikkaus kalliomäen reunaan on useimmiten maisemallisesti paras ratkaisu louhia reunanpuoleinen kallionosa kokonaan pois.



Kuva 21. Leikkaus kalliomäen reunassa [11].

Leikkauksen laajennus

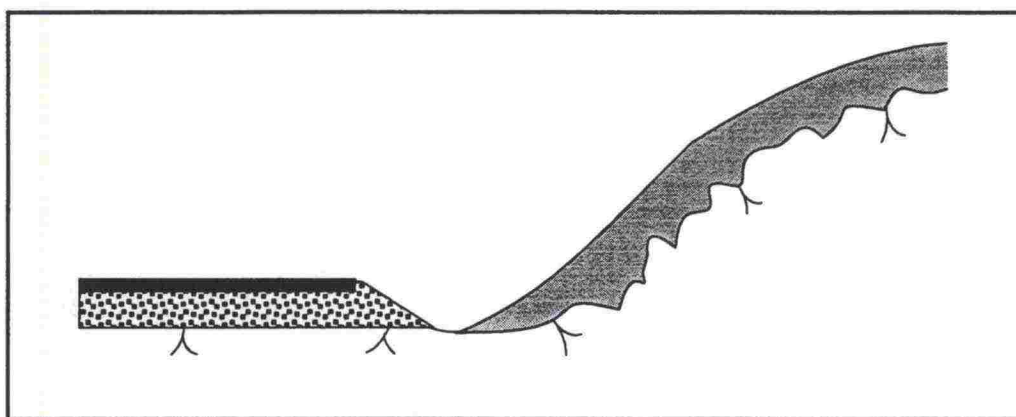
Matalissa leikkauksissa louhinta voidaan luiskun loiventamisen sijaan ulottaa tien tasossa kauemmaksi tien varresta. Tällöin jyrkkä kallioluiska voidaan häivyttää näkyvistä metsittämällä väliin jäävä alue. Käytäntö on suositeltava mikäli poislouhittavasta kiviainesta voidaan taloudellisesti hyödyntää (lähinnä tien rakennukseen) tai kallion ominaisuudet, kuten rikkonaisuus, tekevät leikkauksen toteuttamisen hankalaksi.



Kuva 22. Leikkauksen laajennus [11].

Matala kallio

Matalahko tai hyvin rikkonainen kallio voidaan muotoilla loivaksi ja peittää epätasaiseksi louhittu kalliopinta maakerroksella.



Kuva 23. Louhimalla loivennettu leikkaus [11].

4 Kallioleikkauksen tekeminen

4.1 Louhinta

4.1.1 Louhinnan suoritus

Suurin osa kallioleikkausten louhinnoista tehdään tienrakennuksen yhteydessä, jolloin ne ovat osa urakoitsijalle annettua tienrakennusurakkaa. Urakoitsija voi antaa osan louhintatöistä, esimerkiksi porauksen, aliurakoitsijan tehtäväksi. Työn valvonta on tilaajan vastuulla.

Urakoitsija valitsee käyttämänsä menetelmät annettujen laatuvaatimusten ja kokemuksensa perusteella. Käytettävä etu, reikäväli, panostus ja porareian halkaisija valitaan tapauskohtaisesti. Niihin vaikuttavat ympäristötekijät, kallio-laatu ja haluttu louhekkoko.

Louhinta tehdään suunnitelmien edellyttämällä tavalla. Tilaajan suostumuksella voidaan annetuista ohjeista kuitenkin poiketa, jos näin aikaansaadaan parempi lopputulos. Merkittävä osa tienrakennusurakoiden muutoksista kohdistuu juuri kallioleikkauksiin. Synä ovat esimerkiksi muutokset massatasapainossa tai louhintajäljen korjaaminen. Suunnitelmat ja kalliolaatututkimukset pitää tehdä huolellisesti, jottei työn aikaisia yllätyksiä synny.

Kallioleikkausten suunnittelun puutteellisuutta voidaan korjata työn aikaisella geologisella ohjauksella. Tilaajan on syytä konsultoida geologin tai geoteknikon kanssa kallioleikkauksia louhittaessa. Hyödyllistä olisi, jos geologi tai geoteknikko vierailisi työmaalla säännöllisesti louhintatyön aikana. Geologi tai geoteknikko pystyy määrittelemään kallion pysyvyyden kannalta edullisimman leikkaussuunnan ja kaateen. Myös maisemasuunnittelija voi osallistua kallioleikkausten työnaikaiseen suunnitteluun.

Työnaikaisista muutoksista syntyy useimmissa tapauksissa lisäkustannuksia urakoitsijalle. Urakoitsijan voi vaatia korvausta esimerkiksi ennalta tuntemattoman ruhjeen aiheuttamista lisätöistä samoin kuin muista jälkeempinä sovitusta töistä.

Muu kallioleikkaukseen liittyvä rakentaminen, kuten viheriöinti, suoja-aidan pystyttäminen ja kaiteiden asennus, teetetään yleensä erillisenä urakkana tai ne tehdään tilaajan toimesta.

4.1.2 Laatuvaatimukset

Kallion pinta puhdistetaan irtomaasta niin, että poraus, irroitus ja louheen käyttö (esimerkiksi murskeeksi) ovat mahdollisia. Puhdistuksessa sallitaan tasakärkisellä kauhalla varustetun kaivukoneen tarkkuus. Paljastusleveys on yleensä 1,5 m rakentamiseen liittyvää teoreettista kalliopintaa leveämpi ja tarvittaessa poraukseen vaatimaan leveyteen noin 0,5 m poranreiästä.

Kallioleikkauksen päälle jäävä irtomaakerros puhdistetaan annettuun leveyteen asti. Jäljelle jäävä maaluiska tulee rakentaa niin, ettei se virtaavien vesien vaikutuksesta pääse sortumaan ja siten aiheuttamaan maa-aineksen vierimistä kallioleikkauksesta tielle.

Kallioleikkauksien tasaisuuden suhteen voidaan noudattaa taulukon 8 mukaisia tarkkuusvaatimuksia, kuitenkin niin, ettei yli 15 cm:n kallioulkonemia teoreettisen poikkileikkauksen sisäpuolelle sallita. Louhintatyön onnistumista arvioitaessa voidaan ottaa huomioon työn laatu (porauksen yhdensuuntaisuus, panostuksesta riippuva räjäytyksen rikkomisvaikutus, rusnauksen tarkkuus) suhteessa kalliolaatuun. Pituussuuntaiselle tarkkuudelle ei aseteta yleensä vaatimuksia.

Taulukko 8. Ehdotuksia tarkkuusvaatimuksiksi [21]

Vaihtoehto	Sovelluskohde	Tarkkuus
Vaihtoehto 1 1:1 jyrkemmät luiskat	kalliolaatu kiinteä	+ 15 ... - 30 cm
	kalliolaatu löyhä	+ 15 ... - 60 cm
	kalliolaatu rikkonainen	+ 15 ... - 90 cm
Vaihtoehto 2	tarkkuuslouhinta	+ 15 ... - 15 cm
Vaihtoehto 3	tarkkuuslouhinta	75% reikäpituudesta näkyvissä

Toteutuksen aikana tarkkaillaan voidaanko kallioleikkaukset louhia suunniteltuun kaltevuteen. Rikkoutumisalttiit kohdat louhitaan loivemmiksi tai ne vahvistetaan.

Kallioleikkaukset rusnataan mahdollisimman pian louhinnan jälkeen. Tarvittaessa tehdään muita lujittamistoimenpiteitä.

4.2 Jälkihoito

Jälkihoidolla tarkoitetaan louhitun kallioleikkauksen rikkoutumisen estämistä tai rikkoutumisesta aiheutuvien ongelmien hallintaa. Menetelmiä ovat rikkonaisen osan poisto rusnaamalla, sitominen paikalleen, ja irtoavan kiviaineksen ohjaaminen niin, ettei siitä ole tienkäyttäjille vaaraa.

4.2.1 Rusnaaminen

Rusnaaminen on tavallisin keino korjata rikkoutunutta kallioleikkausta. Se on myös kallioleikkauksen korjausmenetelmistä nopein ja edullisin. Rusnattavat, irronneet tai iskusta irtoavat, kiven lohkat irrotetaan iskuvasaralla, kaivinkoneen kauhalla tai kauhan paikalle asetetulla tangolla. Menetelmän haittoina on, että rusnausjälki on usein rumaa ja rusnaaminen korjaa rikkonaisilla kallio-laaduilla tippumisongelman vain väliaikaisesti. Kallion rikkoutumista on tarkkailtava jatkuvasti ja rusnaus on toistettava kallion rikkoutumisnopeudesta riippuen muutaman vuoden välein. Työt suoritetaan yleensä keväisin jään ja roudan sulamisen jälkeen.

4.2.2 Kallion lujittaminen

Injektointi

Rakojen injektoinnilla pyritään tiivistämään ja lujittamaan rikkonaista kalliota. Injektointi tarkoittaa kalliossa olevien rakojen täyttämistä juoksevalla sementillä tai muulla vastaavalla.

Injektointireiät porataan tavanomaisella kallionporauskalustolla. Reikiin pumpataan paineella sementin ja veden seosta, joka voi sisältää myös savea, kovetteita tai muita lisäaineita. Injektointiaineet, -paine, -kalusto valitaan kohteen mukaisesti.

Kallioleikkauskohteissa injektointia käytetään kallioleikkauksesta purkautuvien vesien patoamiseen, yläpuolisten rakenteiden tukemiseen, rikkonaisuusalueen lujittamiseen tai louhintavahinkojen korjaamiseen.

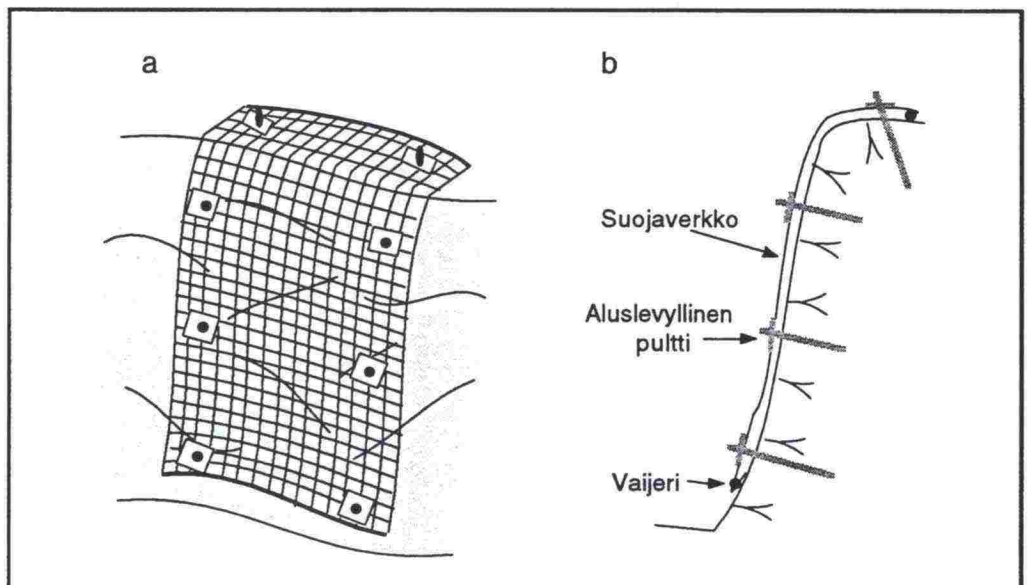
Pultitus ja ankkurointi

Pultittamisella parannetaan kallion lujuusominaisuuksia ja estetään murtumia. Pultilla estetään irronneen kalliolohkon liike. Pultti asetetaan useimmiten kohtisuoraan jännitykseen ja lohkon liikkeeseen nähden.

Kallion ankkuroiminen eroaa pultittamisesta kiinnitysmenetelmällään ja sillä, että ankkuroinnin sitova jännitys on ankkurin suuntainen.

Verkotus

Verkotuksella tarkoitetaan ruhjevyöhykkeen, pieneksi rikkoutuneen kallioalueen tai rapautuneen kallion osan peittämistä verkolla niin, että kiviaines pysyy paikallaan tai irtokivien tippuminen on vähäistä. Verkko toimii toisaalta kallion paikalleen sitojana ja toisaalta estää irtokivien vapaan tippumisen ja suuntaa ne liikenteen kannalta turvallisesti alas. Verkko kiinnitetään kallioon yleensä harvalla pultituksella.



Kuva 25. Ruhjealueen tai rikkonaisen kallion sitominen verkolla a) edestä katsottuna ja b) poikkileikkaus.

4.2.3 Irtoavien lohcareiden ohjaaminen

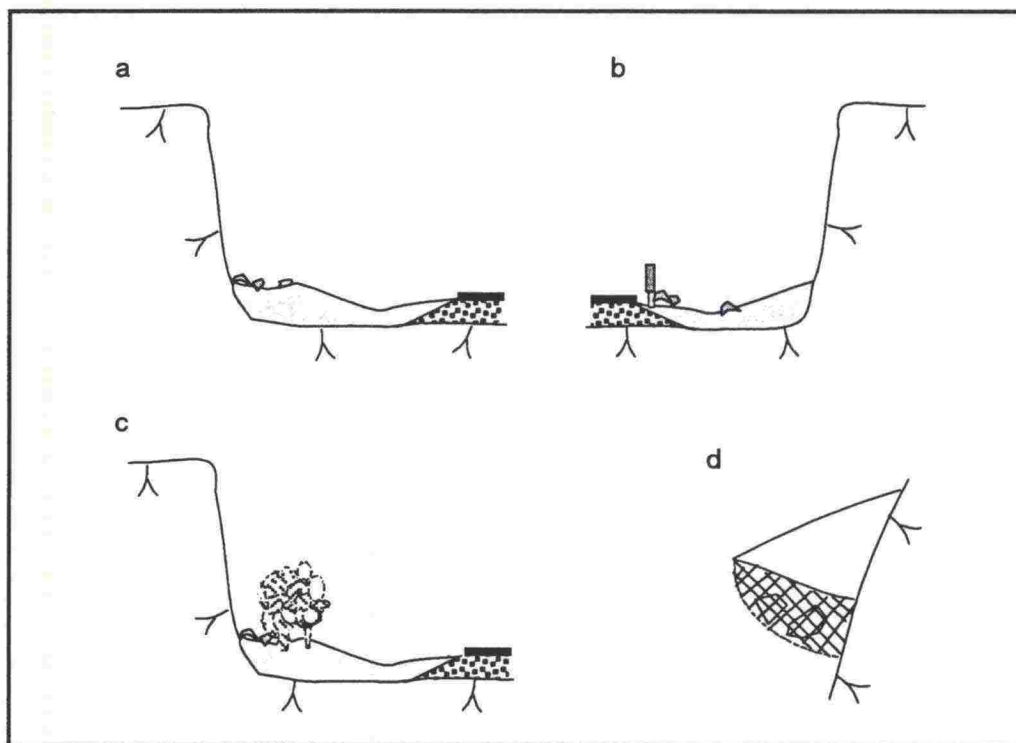
Kaikissa tapauksissa ei ole mahdollista sitoa kiinni tai rusnata pois irtoavia lohcareita. Tällöin on suojattava liikenteen turvallisuus rakentamalla este tippuvien lohcareiden pysäyttämiseksi tai ohjaamalla lohcareet niin, etteivät ne pääse vaarantamaan liikennettä. Ongelman ratkaisut vaihtelevat tapauskohtaisesti riippuen lähinnä käytettävästä maa-alasta, materiaaleista ja louhintateknisistä mahdollisuuksista.

Mitoitusohjeen mukaisesti rikkonaisen kallioleikkauksen juurelle jätetään noin kaksi metriä leveä maapeitteinen taso, johon irtokivet pysähtyvät. Mikäli kiviä tippuu runsaasti tai niillä on runsaasti liike-energiaa voidaan kyseistä tasoa tai koko kallioleikkauksen profiilia leventää. Avartamisella saadaan tilaa tieltä aurattavalle lumelle. Mikäli lumitila on liian pieni, voivat kallioista irtoavat lohcareet vierä hangen päällä tielle asti.

Kallioleikkauksen juurella olevalle tasolle (tai porrastetun leikkauksen muillekin tasoille) voidaan kerätä paksu maakerros, jolle voidaan istuttaa sopivaa kasvillisuutta (pensaita tai nurmea) jarruttamaan irronneiden lohcareiden vierimistä.

Kallioleikkauksen juuresta singonneita kiviä voidaan ottaa kiinni kasvillisuudella tai rakentamalla tien ja leikkauksen väliin aita tai vastapenger. Aita voi olla esimerkiksi tien reunaan rakennettu kaide tai muu vastaava. Vastapenger on maavalli tien vieressä, jolloin tien ja leikkauksen väliin muodostuu tavanomaista syvämpi oja.

Ulkomaisessa kirjallisuudessa [14] esitetään tippuvien kivien keräämistä metalliverkosta tehtyyn koriin. Korijärjestelmä suunnitellaan kevytrakenteiseksi, joustavaksi ja tippuvan kiven liike-energian absorboivaksi.



Kuva 26. Tippuvan kiviaineksen pysäyttäminen eri menetelmillä a) tasanne, b) kaide c) kasvillisuus ja d) kori.

4.3 Vanhan kallioleikkauksen kunnostaminen

Kallioleikkausten kunnostaminen ja uudelleenlouhinta tulevat kyseeseen, jos leikkaus rikkoutuu toistuvasti tai tien linjausta muutetaan tai levennetään.

Yleisimpiä ongelmia vanhoissa leikkauksissa rikkonainen kalliolaatu sekä liian ahdas ja jyrkkä leikkaus.

4.3.1 Kunnostaminen

Kunnostettavat rikkonaiset kallioleikkaukset voivat olla joko kalliolaadultaan huonoja tai ne ovat rikkoutuneet louhinnan yhteydessä. Kallion rikkoutuminen ja rapautuminen jatkuu myös louhinnan jälkeen.

Kunnostuksessa käytettyjä menetelmiä ovat rusnaaminen, verkottaminen, ruiskubetonointi, injektointi ja lohkareiden kiinnittäminen pulteilla tai ankkureilla. Edellä mainittuja on käsitelty kohdassa 4.2.

4.3.2 Uudelleenlouhinta

Kallioleikkausten uudelleenlouhiminen on varsin harvinaista. Pääsyinä tähän ovat rikkoutumisen vähäisyys ja tavanomaisten kunnostusmenetelmien edullisuus uudelleen louhinnan korkeisiin kustannuksiin verrattuna. Kallioleikkauksen uudelleenlouhintaan ryhdytään lähinnä tielinjauksen muuttamisen tai tien leventämisen takia.

Korjattaessa vanhoja kallioleikkauksia loivennuksia tiealueen ulkopuolella tulee ottamistoiminnalle hakea maa-aineslain ja rakennuslain mukainen lupa. Ennen louhinnan aloittamista tulee lisäksi hankkia käyttöoikeus tarvittavaan maa-alueeseen [11].

Korjaamisen kustannukset saattavat kohota korkeiksi. Urakan koko on varsin pieni ja aloituskustannukset korkeat. Teknisiä hankaluuksia on mm. se, että vanhan kallioleikkauksen yläpuolelle on porauskaluston usein hankala päästä. Tiellä kulkeva liikenne haittaa louhintatöiden tekemistä ja louhinta haittaa liikennettä. Louhinta voi aiheuttaa myös maisemallisia haittoja.

Uudelleenlouhinnan tärkeimpänä etuna on aiempaa onnistuneempi lopputulos. Kallion geologiset ominaisuudet voidaan, ja täytyykin, tutkia tarkoin aiemmasta kallioleikkauksesta. Kallioleikkaukselle voidaan suunnitella paras mahdollinen muotoilu.

5 Esimerkkejä kallioleikkauksista

Seuraavissa esimerkkitapauksissa kerrotaan kohteen kallioleikkauksesta tässä selvityksessä esitettyjen periaatteiden mukaisesti. Kohteet on valittu kuvaamaan joko hyvin onnistunutta suunnittelua ja toteutusta tai epäonnistuneita kohteita ja niihin jälkeinpäin tehtyjä korjauksia. Kohteista annetaan rakennegeologinen kuvaus, selvitys louhinnasta ja mahdollisista korjauksista. Kohteiden osalta pohditaan lisäksi mahdollisia korjaustoimenpiteitä ja niiden tarvetta. Korjausehdotukset perustuvat kallion rakenteeseen; maisemallisia arvoja ei tässä yhteydessä ole selvitetty.

Liitteessä 2 on kuvat kallion rakenteesta Kasabergetin ja Munkkalan kallioleikkauksista. Liitteessä 3 on yksinkertaistetut kartat kohteiden sijainnista.

5.1 Kt 51, Länsiväylä/Kehä I, Espoo

Länsiväylän (kt 51) levantämisen yhteydessä on jouduttu muuttamaan myös liittymäjärjestelyjä. Itäisintä Espoon puolella olevista liittymistä, Kehä I:n liittymää, on laajennettu kallioleikkauksella. Kaareva, noin 250 m pitkä kallioleikkaus sijaitsee liittymän eteläpuolella.

Kallioleikkaus on louhittu noudattaen kiven luontaista rakoilua. Louhinnassa on käytetty kahta lähes pystysuoraa toisiaan jyrkästi leikkaavaa rakosuuntaa. Vaakatasoiset pinnat on tehty vaakarakoilua käyttäen tai vaakaporauksella. Rakosuunnat muodostavat yhdessä vaakarakoilun (tai porauksen) kanssa kuutiomaisia kappaleita, jolloin kallioleikkauksesta muodostuu polveileva.

Kallio on hieno - keskirakeista graniittigneissiä. Leikkauksen länsipäässä on hienorakeista amfiboliittia. Kallio on kiinteä, massamainen ja heikosti suuntautunut. Rakoilu on tyypiltään kuutiorakoilua. Rakoilu on harvaa ja raot ovat tiiviitä. Toinen rakosuunnista on suunnilleen tielinjauksen suuntainen ja toinen tätä vastaan kohtisuorassa suunnassa. Kummankin rakoilun kaade on noin 80° ja kaateen suunta on tiellepäin. Kallio on pääosin rapautumaton.

Kallioleikkausta on yleisesti pidetty varsin onnistuneena, joskin ohjatun louhinnan kustannuksia on pidetty suurina. Luonnonmukaisesti louhitun kallioleikkauksen kalliomekaaninen kestävyys on hyvä. Sen kestävyys rapautumista ja rikkoutumista vastaan on perinteisesti louhittua leikkausta parempi.

5.2 Kt 51, Kasaberget, Siuntio

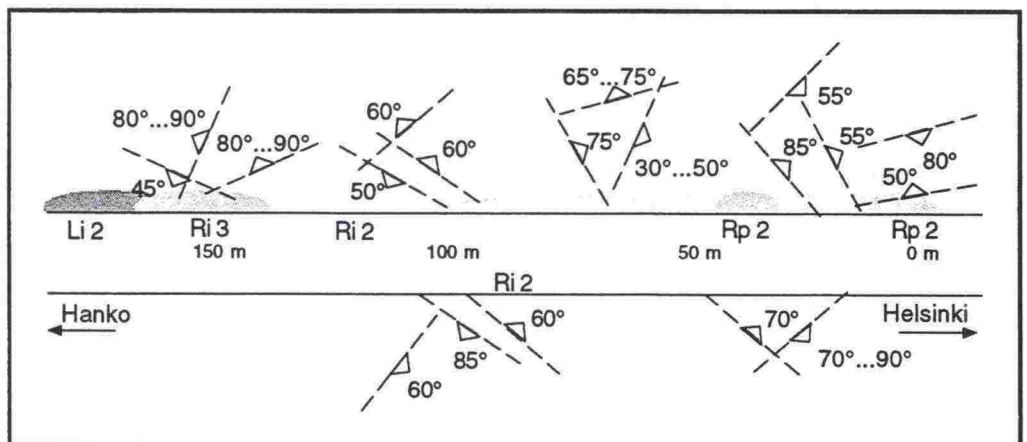
Kasabergetin kallioleikkaus sijaitsee kantatie 51:n varrella 5 km Kirkkonummelta länteen. Kallioleikkaus on louhittu 1960-luvun puolivälissä ja sitä on korjattu syksyllä 1990 [26]. Leikkauksen pohjoisen seinämän pituus on lähes 200 m ja korkeus vaihtelee välillä 5 ... 25 m. Eteläisen seinämän pituus lähes 300 m ja korkeus 5 ... 20 m.

Leikkaus on louhittu pääosin ruhjerakenteiseen kallioon. Huonosta kallio- laadusta johtuen sitä oli laajennettu suunnitelmassa esitetystä pohjoiseen [26]. Konsultin mukaan alkuperäisen louhinnan reikäväli oli ollut 60 ... 100 cm ja panostus suurehko. Porareikien kohdilta kallio oli ollut selvästi rikkoutunut.

Rakennegeologinen kuvaus

Kasabergetin kallioleikkauksen kallio on rakenteeltaan rikkonainen. Pohjois- seinämän länsiosassa on lähes vaaka- tai loiva-asentoisia liuskeisia kerrok- sia. Kivilaatu on pääosin vähän rapautunutta, mutta pohjoisseinämän itäpäässä oleva kallio on runsaasti rapautunut samoin kuin länsipään liuskeiset kerrokset.

Kallioleikkauksen rakoilu on tyypiltään kiilarakoilua ja vähäisessä määrin laat- tarakoilua. Rakotiheys on runsas- tai tiheärakoinen (3 ... 10 tai yli 10 kpl/m). Kallio on lohkaroitunut eri kokoisiksi lohkariksi. Raot ovat pääosin avoimia pohjoisseinämällä ja tiiviitä tai paikoin avoimia eteläseinämällä. Osassa rakoja esiintyy rakotäytteitä, joka kallion yläosassa on osin avoimiin rakoihin valu- nutta maata [26]. Kallioleikkauksen päärakosuunnat ovat leikkauksen itäosas- sa (kulku / kaade) $55^\circ/45^\circ$... 90° , $135^\circ/40^\circ$... 50° ja $370^\circ/45^\circ$... 70° ja länsi- osassa $40^\circ/60^\circ$, $220^\circ/40^\circ$... 55° , 310° ... $350^\circ/65^\circ$... 90° ja lähes vaakatasoinen rakoilu. Kallion liuskeisen osan liuskeisuus aste on kohtalainen.



Kuva 27. Kasabergetin kallion rakosuunnat ja rakoilun tiheys.

Kallioleikkauksen pohjoisseinämän on rakenteeltaan osin löyhää ja osin rikkonaista. Itäpään alaosaan on löyhää, raparakenteista kalliota sekä rikkonaista, murrosrakenteista ja tiheä rakoista kalliota. Länsipäässä oleva liuskekerrokset ovat löyhää, löyhärakenteista, vähärakoista ja vähän rapautunutta kalliota. Pääosa kallioleikkauksen pohjoisseinämästä on rikkonaista, rakorakenteista ja runsasrakoista.

Eteläisen seinämän kallio on rikkonaista, rakorakenteista kalliota.

Tehdyt korjaustoimenpiteet

Kallioleikkauksesta oli irronnut aika ajoin kiviä. Pohjoisseinämästä irtosi 23.9.1990 lohkaraita, joista suurin, noin 1 m³ kokoinen, vierähti pohjoiselle ajoradalle asti. Tapahtuman jälkeen Tielaitoksen Uudenmaan tiepiiri teetti konsultilla selvityksen parantamistoimenpiteistä. Konsultti antoi kolme toimenpideehdotusta kustannusarvioineen [26], joista tilaaja valitsi edullisimman.

Sortuman jälkeen kallioleikkauksen yläosasta irrotettiin louhimalla jonkin verran kalliota [26]. Loput irtoavat kivet irrotettiin rusnaamalla. Rikkonainen alue (1150 m²) peitettiin galvanoidulla teräsverkolla. Verkko kiinnitettiin harjateräspulteilla, jotka osin myös lujittavat kalliota. Kokonaiskustannukset olivat alle 300.000 mk.

Konsultin muut toimenpideehdotukset olivat rikkonaisen alueen ruiskubetonointi ja pois louhiminen.

Ruiskubetonointi olisi tehty kallioleikkaukseen alaosaan, 15 m korkeuteen, märkäruiskutuksena teräskuiduilla ja yläosaan kuivaruiskutuksena verkolla. Kustannusarvio oli 60 mm paksuudelle (RB 60) 750.000 mk ja 30 mm paksuudelle (RB 30) 500.000 mk [26].

Louhinnan suhteen esitettiin kahta vaihtoehtoa: Louhinta yläosassa 10 m leveydeltä porrastaen tai louhinta 10 m leveydeltä koko korkeudelta. Porras-tetun louhinnan kustannusarvio oli 600.000 mk ja alas asti louhinnan 1.000.000 mk. Tien pitäminen liikennekäytössä louhintatöiden aikana olisi nostanut kustannusarviota 50% [26].

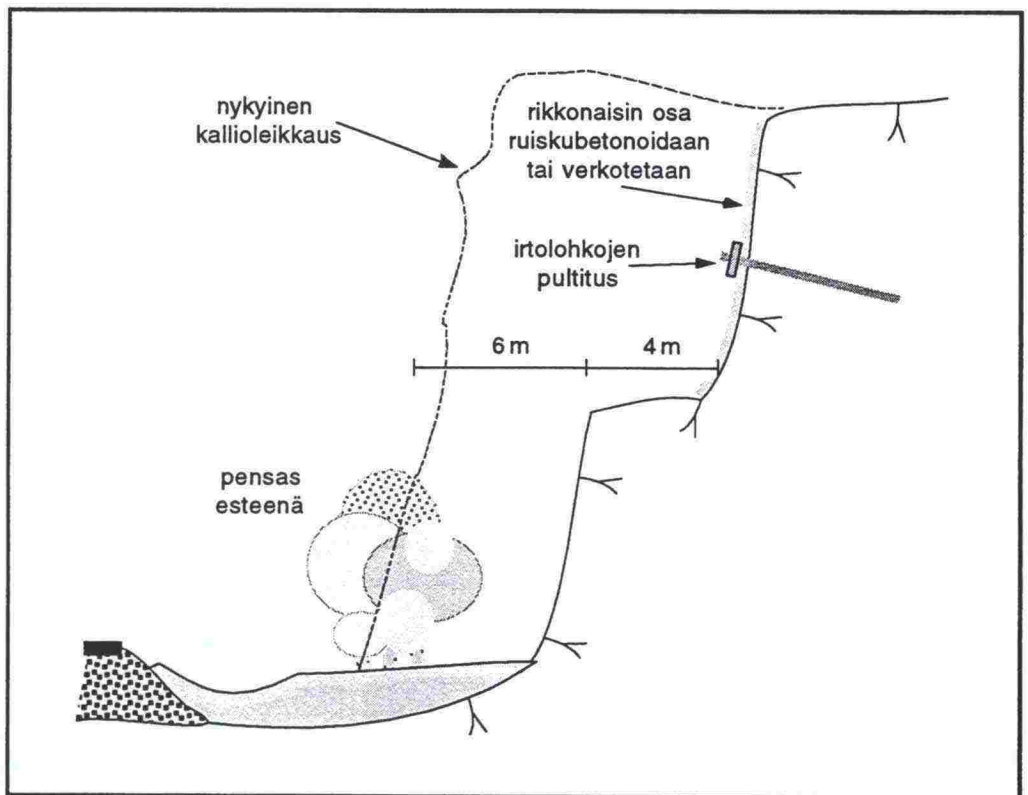
Kunnostustarve

Syksyllä 1990 tehdyt korjaustoimenpiteet ovat ehkäisseet pohjoisseinämän kallioleikkauksen huomattavan rikkoutumisen. Korkeimmalle kohdalle asetettu verkko sitoo irronneita lohkaraita ja hidastaa niiden tippumista. Paikoin levennetty ulkoluiska (tasanne kallion juuressa) kerää pääosan kallioista irronneista lohkaraita. Kallioleikkauksen etäisyys tiestä on 4 ... 7 m.

Verkotuksesta ja rusnauksesta huolimatta kallioleikkauksesta irtoaa silti lohkaraita. Kallioleikkauksen juurelta löytyneiden lohkaraitojen suurin mitta on yleensä alle 10 cm. Pääosa lohkaraita löytyy aivan kallioleikkauksen vierellä, mutta osa lohkaraita voi vierähtä ajoradalle asti.

Kallioleikkaukseen ei ole ajankohtaista tehdä uusia korjaustoimenpiteitä. On kuitenkin suositeltavaa, että irtokivien poistamiseksi kallioleikkaus rusnattaisiin muutaman (korkeintaan viiden) vuoden välein.

Mikäli lohcareiden irtoaminen voimistuu tai kallioleikkauksen varsin rumaa ulkonäköä halutaan kohentaa kannattaa korjaus tehdä edelliskertaa perusteellisemmin. Eräs toimenpide-ehdotus on esitetty kuvassa 28. Kallioleikkaus porrastetaan, rikkonaisimmat osat lujitetaan ruiskubetonoinnilla tai verkolla, kalliota lujitetaan pultituksella ja ulkoluiskan viereen tehdään kasvillisuudesta aita, joka ottaa kiinni irtolohkareita. Ratkaisun kustannus on arviolta 800.000 mk, jossa louhinnan osuus on 500.000 mk ja ruiskubetonoinnin osuus 300.000 mk (verkko 50.000 mk). Työn ajaksi liikenne on syytä ohjata kiertotielle.



Kuva 28. Ehdotus Kasabergetin kallioleikkauksen pohjoisseinämän uudelleenrakentamiseksi.

5.3 Vt 1, Hyrsylä, Nummi-Pusula

Tutkittu kallioleikkaus sijaitsee Hyrsylässä Nummi-Pusulan kunnassa Vt 1:n varrella. Ohituskaistan levennyksen yhteydessä kallioleikkauksen pohjois-seinämää louhittiin uudelleen vuonna 1990.

Kallioleikkaus on noin 300 metriä pitkä ja 15 ... 20 m korkea. Tieleikkauksen eteläseinämä on hyvin onnistunut ja kestävä, sillä se on louhittu liuskeisuusuunnan mukaisesti. Seuraavassa tarkastellaankin ainoastaan levennyksen yhteydessä louhittua pohjoisseinämää.

Louhinta

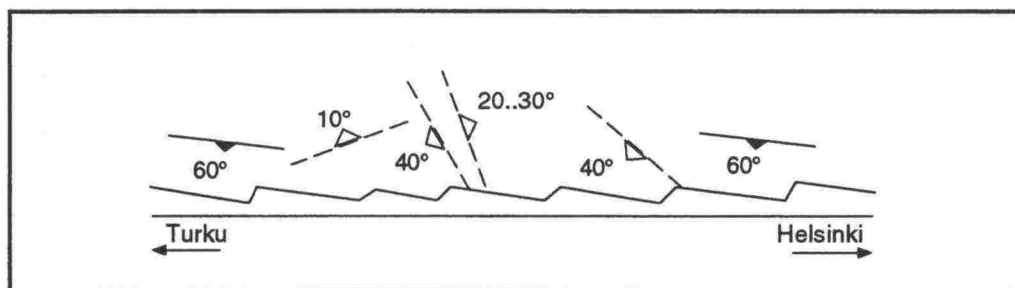
Louhinta on tehty 7:1 kaltevuuteen ja keskimäärin 2 m alkuperäistä kallioleikkausta ulommas. Urakkaan kuului myös kallion pinnalla olleen irtomaan poisto ja verkkoaidan siirtäminen. Sisäluiskan kaltevuus on 1:4 ja leveys 3,0 m. Ulkoluiskan kaltevuus on 1:2 ja leveys 2,0 m. Kallioleikkauksen juurelle ei ole jätetty tasannetta kallioista irtoaville lohkarille. Suunnitelmassa [27] ei ole käytetty hyväksi kallion rakennetta, eikä urakkatarjouksessakaan mainita kalliolaatua.

Louhinnan jälkiä ei kallioleikkauksissa ole juuri havaittavissa. Reikävälinä on ilmeisesti ollut 80 ... 100 cm ja panostus on ollut suurehko. Kallioleikkauksia on rusnattu louhinnan jälkeen niin, että leikkaus kulkee pääasiassa liuskeisuuden suunnassa.

Rakennegeologinen kuvaus

Kallio on kiilleliusketta, jossa on kapeita pystyrakoilun mukaisia graniittiraitoja. Kallio on osin loivasti poimuttunut. Kallio on rakenteeltaan rikkonaista ja kivilaji on voimakkaasti liuskeinen. Kallion kivilaatu on pääosin rapautumatonta, mutta graniittinen aines on paikoitellen runsaasti rapautunutta.

Liuskeinen kallio rakoilu on tyypiltään laattarakoilua. Muodostuneet lohkareet ovat moni kulmaisia laattoja tai kiilamaisia lohkaraita. Kallion rakotiheys on pääosin runsasrakoinen (3 ... 10 kpl/m), mutta leikkauksen keskiosassa on vähärakoinen alue (1 ... 3 kpl/m). Pääosa raoista on avoimia, eikä niissä ole täytettä. Vallitsevat rakosuunnat on esitetty kuvassa 29.



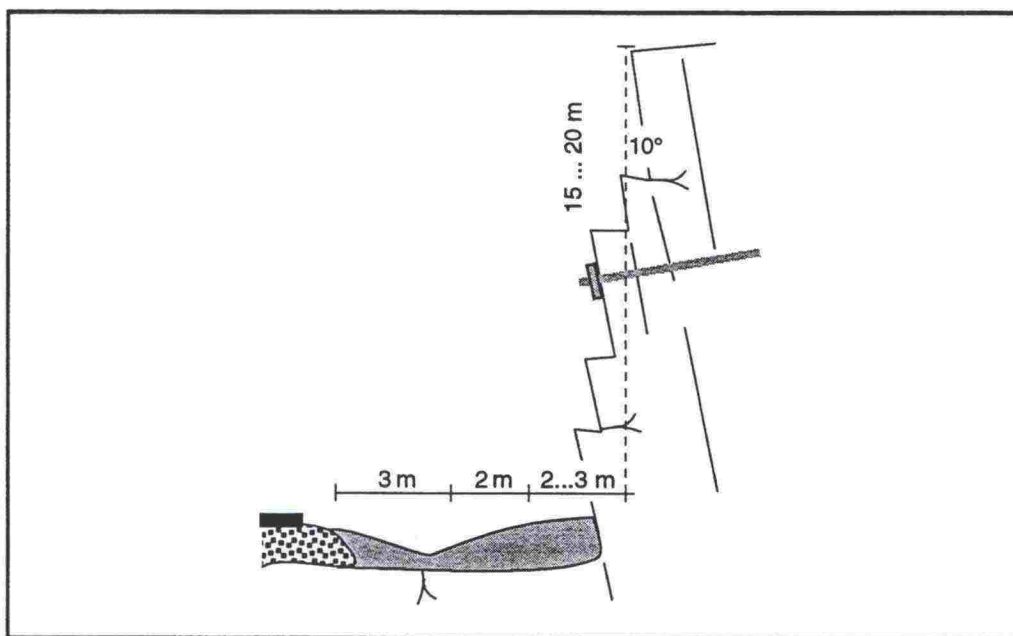
Kuva 29. Hyrsylän kallion rakosuunnat.

Kunnostustarve

Uudelleen louhitusta pohjoisenpuolisesta kallioleikkauksesta on irronnut runsaasti lohkareita. Liikenteelle irtoavista lohkareista ei liene vaaraa, sillä ne eivät laattamaisen muotonsa puolesta vierä tielle asti. Laattojen suurin mitta on yleensä alle 40 cm. Lohkareita irtoaa kuitenkin jatkuvasti, joten kallioleikkaus tulisi rusnata.

Jos kallioleikkausta joudutaan korjaamaan, rusnauksessa ja louhinnassa tulee käyttää vallitsevaa, tiensuuntaista liuskeisuussuuntaa. Koska kyseisen liuskeisuuden kaateensuunta on kuitenkin tiestä poispäin, pitää kallioleikkausta porrastaa kuvan 30 mukaisesti. Eräät lohkot joudutaan varmistamaan pulttein. Louhinnan ja pultituksen määrä selviää rusnauksen aikana. Kustannukset tulevat olemaan noin 200.000 ... 300.000 mk.

Rusnauksesta ja louhinnasta ei aiheudu suurta haittaa liikenteellä, sillä paikalla on kolme ajokaistaa. Työkoneella ei ole vaikeuksia päästä kallion päälle.



Kuva 30. Hyrsylän kallioleikkauksen kunnostusehdotus.

Pohjoisen kallioleikkauksen itäpäässä oleva maaluiska on jätetty jyrkäksi, jopa 60° kaateeseen. Maata on lähtenyt sadevesien mukana valumaan ja kallioleikkauksen juurelle on kertynyt kasa irtomaata. Maaluiska pitäisi tukea, sitoa tai loiventaa.

5.4 Vt 6, Munkkala, Porvoon mlk

Tarkasteltu kallio leikkaus sijaitsee 8 km Porvoosta itään valtatie 6:n varrella. Kallioleikkaus on noin 250 m pitkä. Kallioleikkauksen korkeus vaihtelee niin, että 15 ... 20 m korkean kallioleikkauksen osuus on 80 m pohjoisseinämällä ja 60 m eteläseinämällä. Kallioleikkaus on pääosin 3 ... 7 m korkea.

Leikkaus on louhittu rikkonaiseen kallioon. Alunperin leikkaus oli muotoiltu ala-osaltaan jyrkäksi ja ylä osaltaan loivaksi. Näin pyrittiin avartamaan ahdasta leikkausta. Rikkonaisessa kalliossa muotoilu aiheutti kuitenkin ongelmia, sillä yläosasta irronneet kivet lensivät loivan yläluiskan suuntaamina tielle asti. Irtoavien kivien takia pohjoisseinämää rusnattiin huolellisesti vuonna 1992.

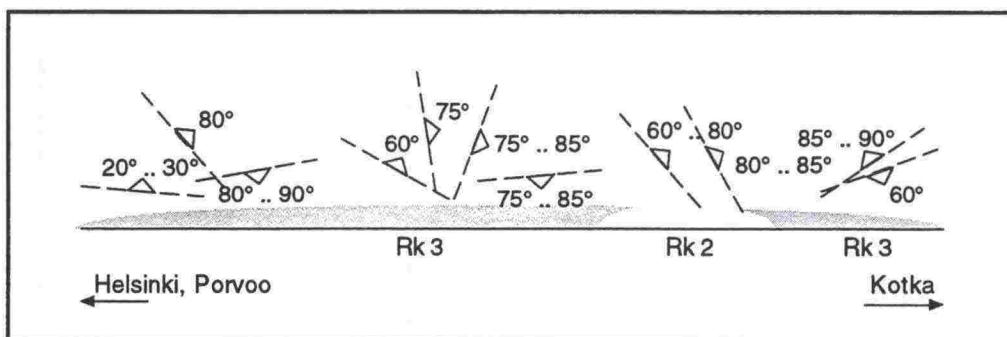
Rusnaamattomista kohdista havaitaan, että porareikien väli on ollut noin 80 cm ja panostus kohtuullista. Louhinta ei ole suoranaisesti aiheuttanut kallion rikkoutumista. Tärkeimmät tekijät lohcareiden irtoamiseen ovat kallion runsas ja erisuuntainen rakoilu sekä rakosuunnista poikkeava louhintasuunta.

Rakennegeologinen kuvaus

Kallioleikkauksen kivilaji on suuntatun graniitti. Kallio on rakenteeltaan rikkonaista, pohjoisen leikkauksen kohdalta rakorakenteista ja ylempänä maastossa halkeamarakenteista.

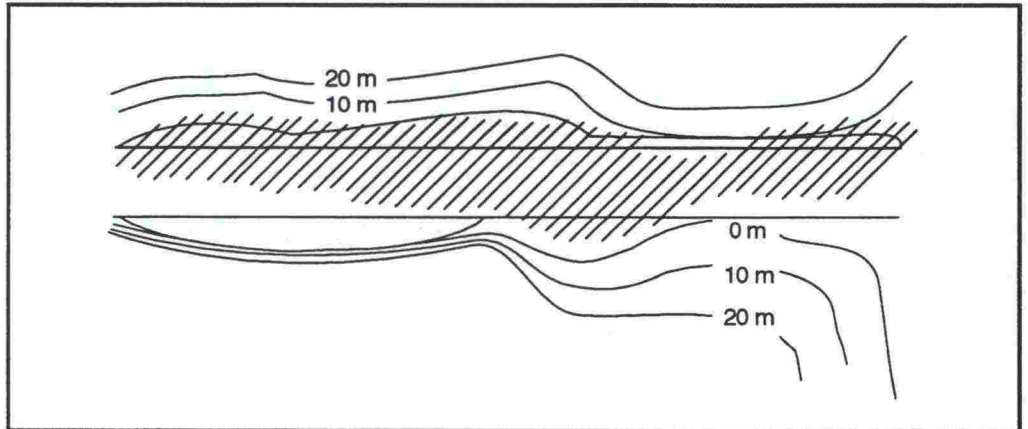
Kallio on rapautumatonta tai osin vähän rapautunutta.

Kallion rakoilu on tyypiltään kuutiorakoilua. Pohjoisseinämän rakoilu on tiheydeltään runsasrakoista (3 ... 10 kpl/m), lukuunottamatta noin 20 m² aluetta itäpäässä, joka on vähäarakoista (1 ... 3 kpl/m). Pääosa raoista on avoimia, mutta osa vaakarakoista on savitäytteisiä. Tärkeimmät rakosuunnat on merkitty kuvaan 31.



Kuva 31. Munkkalan kallioleikkauksen tärkeimmät rakosuunnat ja rakoilun tiheys pohjoisseinämästä.

Kallioleikkauksen rikkonaisuudesta päätellen kalliossa on todennäköisesti ruhje leikkauksen kohdalla. Ruhjealue on piirretty kuvaan 32. Eteläseinämän itäpää on 'luonnontilaisena'; se on lohjennut rakoilun mukaisesti. Pohjois-seinämä on alaosaltaan hyvin rikkonainen ja osin kallio kohoaa seinämänä 5 ... 7 metriä kallioleikkausta kauempana.



Kuva 32. Ruhjealue Munkkalan kalliossa. Kalliosta on piirretty korkeuskäyrät, louhittu kallioleikkaus on merkitty harmaalla ja rikkonaisuus- ja ruhjealue vinoviivoituksella.

Kunnostustarve

Tehtyjen rusnaustöiden ansiosta ei kallioleikkauksesta irtoa merkittävästi kiviä lähivuosien aikana. Rapautuminen kuitenkin jatkuu ja ajanmyötä irtoaa jälleen uusia lohkkareita. Suuria lohkkareet tuskin kuitenkaan irtoa, sillä vallitseva tiestä poispäin viettävä loiva rakoilusuunta pitää laajapohjaiset lohkkareet paikallaan.

Irtoavien pienehköjä kivien kiinniottamiseksi voidaan sisäluiskaan rakentaa kaide tai rikkonainen alue voidaan peittää verkolla.

Rusnauksen, kaiteen tai verkotuksen lisäksi voidaan harkita myös uudelleenlouhintaa. Louhinta pitäisi tehdä porrastettuna ja luonnollisia rakosuuntia käyttäen. Porraskorkeus olisi 3 .. 5 m ja portaot ovat rakosuuntien mukaisia.

5.5 Vt 3, Janakkala

Helsinki - Tampere moottoritien (Vt 3) osuus Riihimäeltä Hämeenlinnaan valmistui syksyllä 1992. Pääosa tästä 29 km pitkästä tieosuudesta kulkee Janakkalan kunnan alueella. Tieosuudella on kymmenkunta suurehkoa (100 ... 250 m pitkiä, 10 ... 25 m korkeita) ja muutamia pieniä kallioleikkauksia. Tie on linjattu kallioitten sivuitse niin, että vain muutamassa kohdassa kallio jatkuu molemmilla puolin tietä.

Alueen kalliot ovat kallioleikkausten rakentamiselle hieman hankalia. Miltei kaikki tieosuuden kallioleikkaukset ovat joko runsas- tai tiheärakoisia. Kallioleikkaukset ovat rosoisen ja rikkonaisen näköisiä. Eräissä kallioleikkauksissa on käytetty hyväksi rusnauksen ansiosta suurinpiirtein tiensuuntaisia rakoilusuuntia. Rakosuuntia on useita, mutta yleensä kolme vallitsevaa. Kallioleikkauksia on rusnattu voimakkaasti ja porauksen jäljet ovat vain paikoin näkyvissä. Reikäväli on ollut 50 ... 70 cm ja panostus kohtalainen. Louhinta ei ole merkittävästi rikkonut kalliota.

Seuraavassa on käsitelty lähemmin kahta kohdetta, joita on jouduttu tielle pudonneiden kivien takia rusnaamaan kesällä 1993. Eteläisempi kohde, Uramonmäki, sijaitsee reilun kilometrin Riihimäen pohjoisen liittymän pohjoispuolella. Pohjoisempi kohde, Kirstankalliot, sijaitsee 3 km Turengin liittymän eteläpuolella. Molemmat kohteet ovat tien länsipuolella, Helsinkiin vievän ajoradan vieressä.

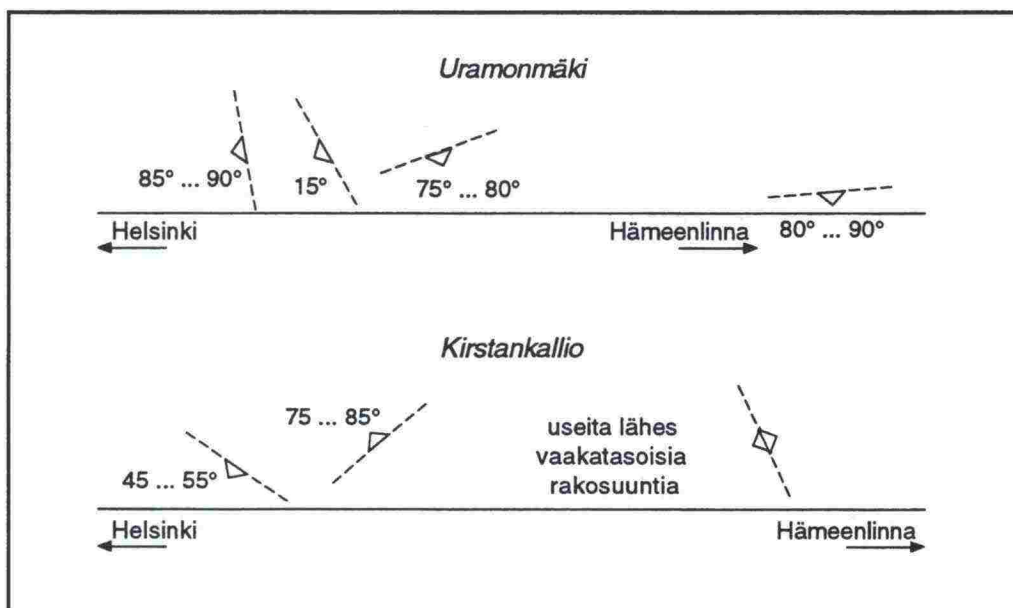
Rakennegeologiset kuvaukset

Uramonmäen kallio on pääosin suuntautumaton graniitti, mutta sisältää paikoin myös muita kivilajeja. Kallio on pääosin rapautumatonta. Rakoilu on tyypiltään kuutiorakoilua, vaikkakin lohcareiden muoto hieman vaihtelee. Raot ovat avoimia tai tiiviitä ja harvoissa rapautuneissa kohdissa saven tai rapautumistuotteen täyttämiä. Rakoilun tiheys vaihtelee vähä rakoisesta tiheä rakoiseen (1 kpl/m ... > 10 kpl/m) pienilläkin etäisyyksillä. Vallitsevat rakosuunnat on esitetty kuvassa 33.

Kirstankallio on samankaltainen kuin Uramonmäki. Kivilaji graniitti ja se on pääosin rapautumatonta. Rakoilu on tyypiltään kuutiorakoilua. Raot ovat avoimia tai tiiviitä. Rakoilun tiheys vaihtelee vähä rakoisesta tiheä rakoiseen (1 kpl/m ... > 10 kpl/m). Vallitsevat rakosuunnat on esitetty kuvassa 33.

Kunnossapito

Uramonmäen rikkoutuminen johtuu suuresta rakotihydestä ja louhinta-suuntaan nähden epäedullisista rakoilusuunnista. Kalliota on rusnattu vuonna 1992.



Kuva 33. Uramonmäen ja Kirstankallion vallitsevat rakosuunnat.

Kirstankallion kohdalla on kaksi ongelmaa: Kallioleikkauksen eteläpään päällä olevan maaluiskan pysyvyys ja kallion rikkonaisuus. Maaluiskan kohdalla kallio on hyvin rikkonaista ja ympäröivään kallioon nähden alempana. Paikalla lienee ruhjealue. Yläpuolella varsin jyrkästi kohoava maaluiska ei ole pysynyt paikallaan, vaan sade- ja sulamisvedet tuovat mukanaan maata ja pikkukiviä. Ennen rusnausta on kallioista irronnut muutamia lohkareita (suurin mitta noin 40 cm). Kallioleikkausta korjattiin kesällä 1993. Sisäluiskaan asennettiin kaide, jolla estettiin kivien vieriminen tielle. Ulkoluiskaan kerääntynyt irtomaata poistettiin ja kalliota rusnattiin. Korjaustoimien jälkeen kaide poistettiin.

Molemmat kallioleikkaukset on louhittu mahdollisimman lähelle moottoritietä. Mikäli kallion laatu olisi tunnettu ennen louhintaa, olisi rikkonaisen kalliolaadun takia leikkausta voitu leventää, loiventaa ja istuttaa pensasesteitä. Kallion louhinnassa olisi osin voitu käyttää myös luonnollisia rakosuuntia. Tosin Uramonmäen leikkausta olisi ollut vaikea leventää, sillä kallio kohoaa leikkauksen takana.

Vilkaasti liikennöidy moottoritien vierellä olevan kallioleikkauksen uudelleenlouhinta on hankalaa, eikä siihen ole välttämätöntä tarvetta. Kallio on kuitenkin niin rikkonaista, että kallioleikkausta tulee tarkkailla säännöllisesti ja se on rusnattava tarvittaessa. Rusnattaessa on pyrittävä löytämään kestävät ja suuret lohkot. Eräiden lohkojen pysyvyyttä voidaan tarvittaessa varmistaa pultuksella.

Kallioleikkauksesta irtoavat kivet voivat sisä- ja ulkoluiskan profiilin muodosta johtuen vieriä tielle. Kummassakin leikkauksessa valuu vettä.

Kirjallisuus

- [1] Korhonen, K.-H., Gardemeister, R., Jääskeläinen, H., Niini, H., ja Vähäsarja, P., 1974. Rakennusalan kallioluokitus. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, geotekniikan laboratorio, Tiedonanto 12. Espoo. 91 s.
- [2] Dennis, John, G., 1972. Structural Geology. New York. s. 141-156.
- [3] Gaál, Gabor, 1980. Rakennegeologia. Vasara r.y.:n kurssikirjasarja no. 1. Helsinki. 113 s.
- [4] Lappalainen, Veikko, 1978. Rakennegeologisia tutkimuksia Tampereen Hervannan kallioraoista. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennustekniikan osasto, Rakennusgeologia, Raportti No. 7. Tampere. 92 s.
- [5] Niini, Heikki, 1976. Rakennusgeologinen kallioluokitus. Maa- ja kalliorakennus. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto, RIL 98. Helsinki. s. 212-220.
- [6] Niini, H. ja Uusinoka, R., 1987. Kallioperän rakenne. Tunneli- ja kalliorakennus I. s. 59-65.
- [7] Kauranne, L. K., Gardemeister, R., Korhonen, K. ja Mälkki, E., 1972. Rakennusgeologia II. TKY no 304. Espoo.
- [8] Barton, N., Lien, R., ja Lunde, J., 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics, Vol. 6, no. 4.
- [9] Maijala, P. V., Kauranne, L. K., Lindholm, O., Matikainen, R., Mustala, J., Niini, H. ja Peltola, E., 1973. Kallion rakenteellisten ominaisuuksien vaikutus louhittavuuteen. Vuorimiesyhdistys r.y., Tutkimusseloste 27. Helsinki. 131 s.
- [10] Uusinoka, R., 1978. Regional engineering geology related to natural risks, constructional impacts and enviromental alteration in the Fennoscandian Shield. Proc III Int. IAEG Sec. I, vol. 10.
- [11] Tie- ja vesirakennushallitus, tierakennustoimisto, 1986. Ohjeita kallion ottopaikkojen ja tieleikkausten louhinnasta sekä maisemoinnista. Tiel 2212458. Helsinki. 28 s.
- [12] Vähäsarja, Pentti, 1987. Kalliolaatu. Tunneli ja kalliorakennus I, RIL 154-1. s. 83-84.
- [13] Hoek, E. ja Bray, J. W., 1974. Rock slope engineering. Institution of Mining and Metallurgy. London.
- [14] Richards, L., 1992. Slope stability and rockfall problems in rock masses. Engineering in Rock Masses. Oxford. s. 209-229.
- [15] Rahn , Perry, H., 1985. Engineering Geology, An Environmental Approach. New York. s. 93-97.

-
- [16] Billings, Marland P., 1972. Structural Geology, third edition. 606 s.
- [17] Tielaitos / kehittämiskeskus, 1992. Tietoa tiensuunnittelusta. 24 s.
- [18] Tielaitos / geotekniikka ja geologia, 1991. Kallionlaatututkimukset tiensuunnittelussa, ohje . Tiel 2180001. Helsinki. 20 s. ja 3 liitettä.
- [19] Lappalainen, Kari, 1993. Onko tiekallioleikkauksissa parantamisen varaa?. Tierakennusmestari 4/93. s. 60-63.
- [20] Heikkilä, Pertti, Jokinen, Juha ja Ylätaalo, Kalle, 1992. The Effect of Explosive Charge on the Extent of Blast-Induced Damage in Rock. Research Report TKK-KAL A3, Teknillinen korkeakoulu. Espoo. 21 s.
- [21] Tielaitos, 1991. Kalliorakenteet, Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset. Helsinki. 12 s.
- [22] Tie- ja vesirakennuslaitos, Tien suunnittelutoimisto, 1982. Suoja-aidat. Helsinki. 10 s. ja 2 liitettä.
- [23] TVH / Suunnitteluosasto / Kehittämiskeskus ja Liikennetekniikka Oy, 1989. Tie ja Ympäristö: Vapaan maisemajakson tiet. TVH 723429. Helsinki. 57 s.
- [24] Myyrä, Veikko, 1987. Tien - ja rautatien rakennus, avoleikkaukset. Tunneli- ja kalliorakennus I. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL 154-1. Espoo. s. 229-231.
- [25] Laine, Tenho, 1976. Kalliorakennusmentelmien ominaisuuksia ja suunnitteluohjeita. Maa- ja kalliorakennus. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto, RIL 98. Helsinki. s. 321-337.
- [26] Tielaitos, Uudenmaan tiepiiri ja Maa ja Vesi Oy, 1990. Helsinki-Karjaa Kantatie 51, Kasabergetin kallioleikkauksen parantamistoimenpiteet. 5 s. ja 10 liitettä.
- [27] Tielaitos, 1990. Urakkatarjouspyyntö, Kallioleikkauksen laajentaminen vt 1:llä Hyrsylän kohdalla, Nummi-Pusulan kunnassa. Helsinki. 6 s, 3 liitettä, kartat ja poikkileikkaukset.

Liitteet

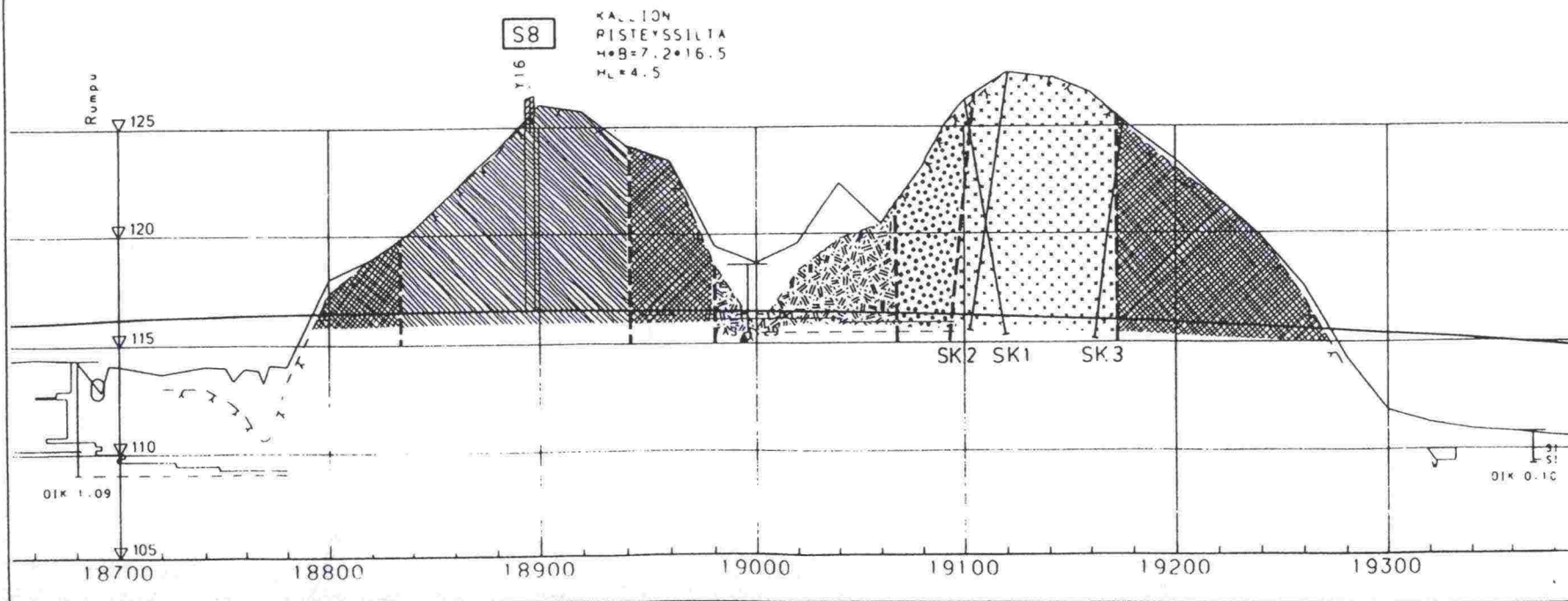
Liite 1 Kallioalueen laatu

Liite 2 Kallion rakenne

2.1 Kasabergetin kallioleikkaus

2.2 Koskenkylän kallioleikkaus

Liite 3 Kohteiden sijainti



KIVIAINEKSEN LUJUUSTUTKIMUKSET

TULOKSET:

Näytteen nro	1	2	3	4	5
paalu	18804/15 oik	18842/14 vas	18870/17 oik	18913/KL	18948/10 vas
Tutkimustulokset:					
kiintotiheys	2,71	2,71	2,73	2,71	2,71
Los Angelesluku	33,7	26,0	26,6	25,0	32,6
parannettu haurausarvo	28,3	24,9	21,3	21,0	28,1
muotoarvo	2,49/1,60	2,52/1,60	2,29/1,52	2,02/1,47	2,46/1,62
hioutuvuus	2,90	2,54	2,53	2,36	2,92
LAATULUOKKA	III	II	II	II	III
Näytteen nro	6	7	8	9	10
paalu	19040/9 vas	19090/10 oik	19118/10 vas	19150/14 oik	19162/18 vas
Tutkimustulokset:					
kiintotiheys	2,64	2,68	2,68	2,68	2,70
Los Angelesluku	38,8	23,5	14,7	14,6	31,2
parannettu haurausarvo	37,2	18,7	18,3	16,9	27,3
muotoarvo	2,09/1,51	2,15/1,55	2,09/1,49	2,10/1,49	2,45/1,60
hioutuvuus	-	2,10	1,70	1,65	2,85
LAATULUOKKA	>III	I	A	A	III
Näytteen nro	11	SK1	SK2	SK3	
paalu	19228/18 vas	19098/14 vas	19120/20 oik	19174/10 vas	
Tutkimustulokset:					
kiintotiheys	2,71	2,68	2,68	2,70	
Los Angelesluku	32,6	15,0	14,7	15,2	
parannettu haurausarvo	29,2	18,1	18,4	18,7	
muotoarvo	2,50/1,60	2,10/1,51	2,08/1,48	2,09/1,51	
hioutuvuus	2,85	1,70	1,75	1,75	
LAATULUOKKA	III	A	A	A	

MASSAMÄÄRÄT LAATULUOKITTAIN

Luokka	Määrä
A	38 000 m ³
I	11 000 m ³
II	40 000 m ³
III	42 000 m ³
>III	14 000 m ³

Piirustuksen sisältö: kartalla ja pituus-/poikki-leikkauksissa esitetään kiviaineksen laatuluokkarajat ja tutkimuspisteet. Kallioperätiedoista esitetään pääarakosuunnat ja mahdollinen liuskeisuus. Piirustuksessa esitetään myös tiedot kiviaineksen lujuustutkimusten tuloksista sekä kunkin laatuluokan massamäärästä.

MERKINTÖJEN SELITYKSET

KIVIAINEKSEN LAATULUOKAT

	VIHREÄ	A
	SININEN	I
	KELTAINEN	II
	RUSKEA	III
	PUNAINEN	>III

NÄYTTEENOTTO

Pintanäyte ja näytteen numero

Kallionäytekairaus, kairauksen suunta ja pisteen numero

LIUSKEISUUS JA RAKOILU

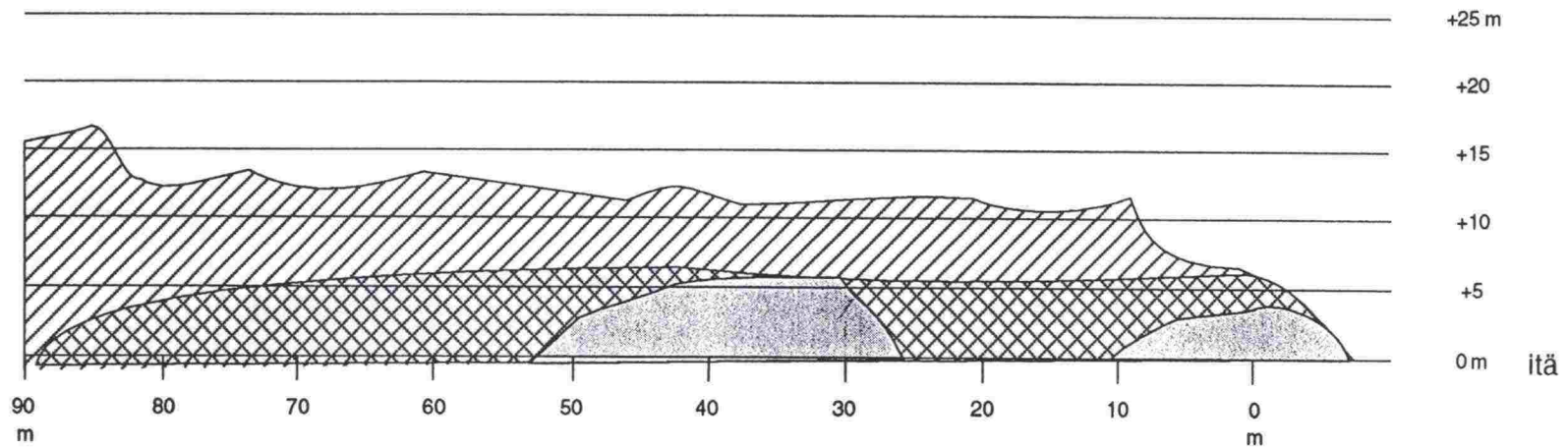
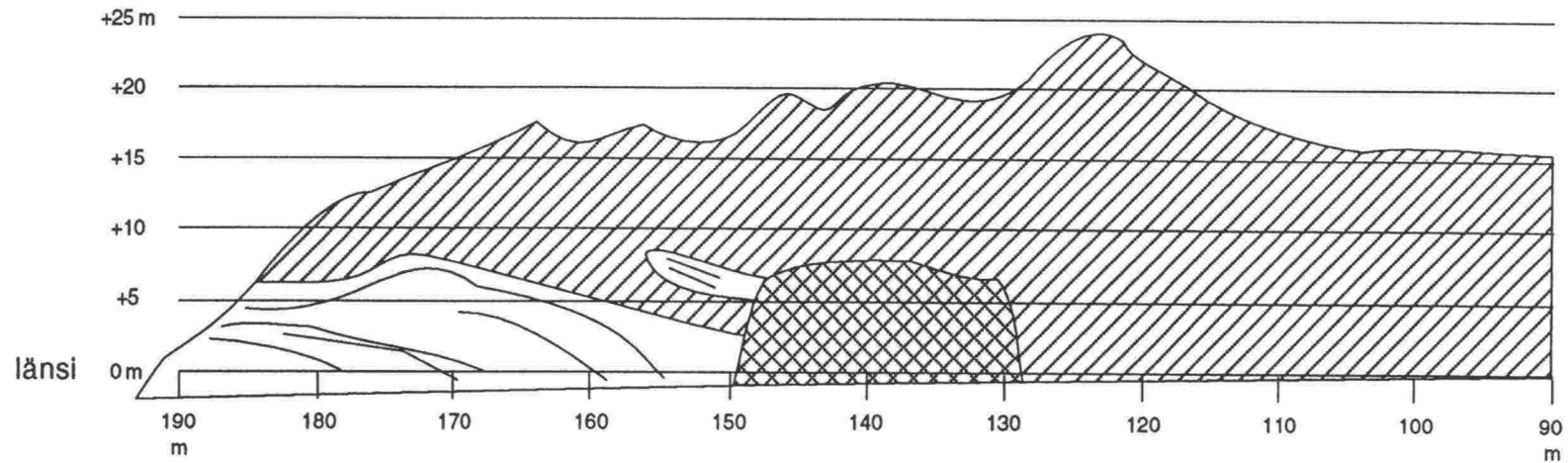
Liuskeisuus


Rakosuunta, kaltevuus ja rakoluku

Merkki	1	Muutos	Pvm	Suunn.	Tek.
Hankkeen nimi					
Piirustuksen sisältö KALLIOALUEEN LAATU Kartta ja pituusleikkaus					
Tielaitos					
Pvm					
Hankkeen nimi					
Piti	Vuosi	Maan	Pit nro		
1-2000/1:200					


KALLION RAKENNE

Vt 51, Kasaberget, Siuntio, pohjoinen kallioleikkaus



 Löyhä kallio,
liuskeisia kerroksia,
vähärakoinen Li 2,
vähän rapautunutta Rp1

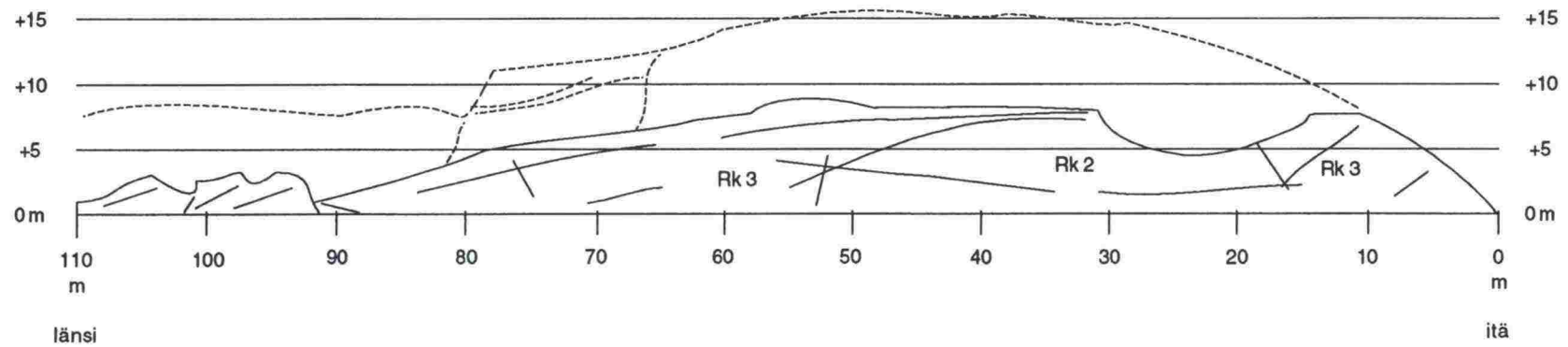
 Rikkinainen kallio,
rakorakenteinen
runsaarakoinen Ri 2
(3-10 kp/m)

 Rikkinainen kallio,
murrosrakenteinen,
tiheä rakoinen Ri 3
(> 10 kp/m)


 Löyhä kallio,
raparakenteinen,
runsaasti rapautunut
Rp 2

KALLION RAKENNE

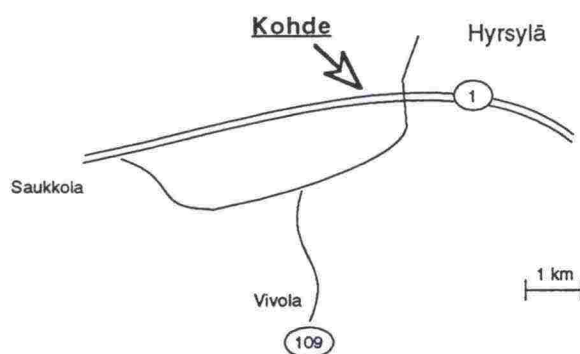
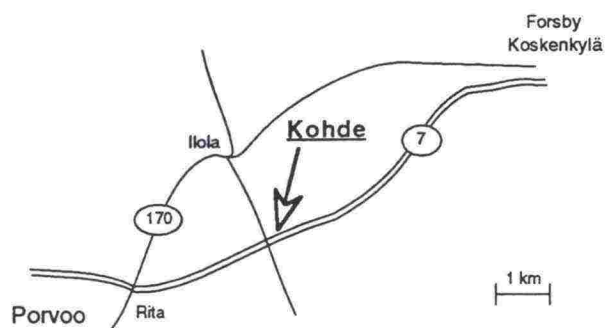
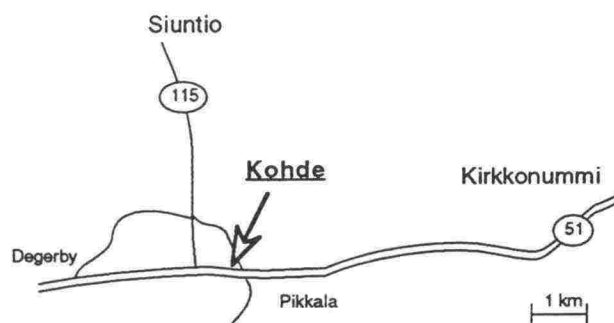
Vt 6, Munkkala, Porvoon mlk, pohjoinen kallioleikkaus



Piirros ei ole mittatarkka

 Rikkinainen kallio
rakorakenteinen
runsas- tai tiheä rakoinen,
tärkeimmät raot

LIITE 3



TIEHALLITUKSEN SISÄISIÄ JULKAISUJA

- 20/1992 Vanhojen tienrakennekerrosten uudelleen käyttö. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 26/1992 Kalliomurskeiden käyttö sitomattomissa rakennekerroksissa, esiselvitys. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 42/1992 Pehmeikölle perustettavan tiepenkereen geotekniset laskelmat. Geopalvelukeskus
- 43/1992 Pehmeikölle rakennettavien tieleikkausten geotekniset laskelmat. Geopalvelukeskus
- 44/1992 Saven varaan perustetut alikulkukäytävät. Geopalvelukeskus

TIELAITOKSEN SISÄISIÄ JULKAISUJA

- 32/1993 V-poikkileikkaus ja teräsverkot tierakenteissa; Tulokset V-poikkileikkauksen ja teräsverkkojen käyttökokeista tien pituussuuntaisten halkeamien ehkäisyssä. TIEL 4000043
- 48/1993 Geopalveluiden maksu- ja mittausperusteet; Geopalveluyksiköiden tuloslaskelmat. TIEL 4000049

TIELAITOKSEN TUTKIMUKSIA

- 4/1992 Tiepenkereen holvautuminen, loppuraportti. TIEL 3100005
- 5/1993 Arktinen tienrakentaminen, Kilpisjärven hankkeen yhteenveto. TIEL 3100011

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 1/1992 Pystyjanauhojen laatuvaatimukset; laadunvalvonta ja testausmenetelmät. TIEL 3200057
- 31/1992 Pohjaveden maatiivistesuojan tiivistäminen. TIEL 3200086
- 46/1992 Syvästabiloinnin laadunvalvontaohje. TIEL 3200099
- 62/1992 Hienoaineksen vaikutus stabiloidun moreenimurskeen pakkaskestävyyteen. TIEL 3200112
- 68/1992 Tien pohja- ja päällysrakenteet -tutkimusohjelma (TPPT), perussuunnitelma. TIEL 3200118
- 69/1992 Rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuus. TIEL 3200119
- 78/1992 PTM-auton tuottamien tunnuslukujen käyttökelpoisuus ja vertailtavuus sekä niiden yhteys laser-mittauksiin (IRI, IRI4, PI/Laser). TIEL 3200134
- 8/1993 Sitomattoman kantavan kerroksen rakentaminen. TIEL 3200135
- 15/1993 Masuunikuonan käyttö sitomattomissa päällysrakennekerroksissa. TIEL 3200142
- 16/1993 Betonipäällysteen seuranta; Vt 4 Kempele-Kiviniemi, seurantaraportti nro 1. TIEL 3200144
- 19/1993 Teiden kuntoa ja palvelutasoa koskeva seurantatutkimus. TIEL 3200145
- 20/1993 Moreeni ja sen käyttö. TIEL 3200146
- 26/1993 Bentoniittimattojen ja muovikavojen kelpoisuus pohjaveden suojaukseen, tutkimuksia ja suosituksia. TIEL 3200152
- 34/1993 Kalliomurskeiden tiivistyminen ja hienoneminen, esitutkimus. TIEL 3200159
- 36/1993 Palaturpeen käyttö lämmöneristeenä, raportti koerakenteiden rakentamisesta. TIEL 3200161

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 38/1993 Sitomattomien kerrosten kiviainesten muodonmuutosominaisuudet; Kirjallisuusselvitys. TIEL 3200163
- 39/1993 Sitomattomien kerrosten kiviainesten muodonmuutosominaisuudet; Esiselvitysvaiheen kuormituskokeet. TIEL 3200164
- 40/1993 Teiden tasaisuusmittareiden vertailu; PTM:n, Roadmanin ja Dipstickin laitevertailu sekä epätasaisuuksien vaikutus tierasitukseen. TIEL 3200165
- 41/1993 Stabiloitun materiaalin maksimiraekoon sekä koekappaleen koon ja muodon vaikutus puristuslujuuteen. TIEL 3200166
- 47/1993 Väsymissuorat tierakenteen mitoitusta varten. TIEL 3200172
- 59/1993 Valtatien 3 routamitoitus routanousun mukaan välillä Riihimäki P - Virala. TIEL 3200184
- 60/1993 Jännitys- ja muodonmuutosmittaukset tierakenteessa 1991-1992; Pohjaveden pinnan vaikutus, tienpinnan taipumamittaus eri lämpötiloissa, vertailu standardi paripyörä - Neste Oy:n kantavuusradan pyörä. TIEL 3200185
- 68/1993 Kuitukankaat tienrakennuksessa; Uudistetun VTT-GEO luokituksen mukaiset laatuvaatimukset. TIEL 3200193
- 71/1993 Nonwoven Geotextiles in Road Constructions. TIEL 3200193E
- 76/1993 Rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuus 1992-1993. TIEL 3200200
- 77/1993 Moreenin jalostaminen. TIEL 3200201
- 81/1993 Vt 12 Veittostensuon syvästabilointi, tutkimusraportti. TIEL 3200205
- 82/1993 Emulsiopäällysteiden suunnittelu ja rakentaminen. TIEL 3200206
- 4/1994 Strategic Highway Research Program (SHRP) - Long-Term Pavement Performance (LTPP); Materiaalimodulin määrittäminen takaisinlaskentaohjelmalla sekä tierakenteen vaurioitumisajankohdan ennustemallit. TIEL 3200213
- 7/1994 Tien pohja- ja päällysrakenteet, tutkimusohjelma (TPPT). Tutkimusohjelma vuosille 1994-2000. TIEL 3200218
- 8/1994 Roudan vaikutusten mallintaminen. TIEL 3200219
- 12/1994 Jännitys- ja muodonmuutosmittaukset tierakenteessa 1992-1993. Roudan sulamisen simulointi, pohjaveden pinnan vaikutus korkeassa lämpötilassa ja päällysteen reunan vaikutus. TIEL 3200223
- 24/1994 Tien pohja- ja päällysrakenteet - tutkimusohjelma (TPPT); Työn toiminta- ja laatusuunnitelma vuodelle 1994. TIEL 3200234
- 30/1994 Kallioleikkaukset. TIEL 3200240
- (Geotekniikan informaatiojulkaisuja:)*
- 2/1993 Massanvaihto. TIEL 3200127
- 21/1993 Pengerpaalutus. TIEL 3200147
- 23/1993 Pohjanvahvistusmenetelmän valinta. TIEL 3200149
- 24/1993 Tiegeotekniikan yleiset mitoitusperusteet. TIEL 3200150

ISSN 0788-3722
ISBN 951-47-9398-6
TIEL 3200240